



Ana Filipa Pereira Rebouta

Licenciada em Ciência da Engenharia Química e Bioquímica

Estudo da influência da etiqueta no processo de IML

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia
Química e Bioquímica

Orientador: Eng. Paulo Neves, Logoplaste
Co-orientador: Prof. Doutor Mário Eusébio, FCT-UNL

Júri: Prof. Doutor Mário Fernando José Eusébio

Presidente: Prof. Doutora Ana Isabel Nobre Martins Aguiar de Oliveira Ricardo

Arguente: Prof. Doutor José Paulo Barbosa Mota



Março de 2017

Estudo da influência da etiqueta no processo de IML

Copyright © Ana Filipa Pereira Rebouta, Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos aqueles que contribuíram para a realização da minha dissertação.

Um obrigada muito especial aos engenheiros Paulo Neves, Ana Ferreirinha e Bruno Fera, ao responsável de produção Manuel Rodrigues e ao responsável de manutenção José Brito pela disponibilidade e pelos conhecimentos transmitidos ao longo destes seis meses. Agradeço ainda a todos os operadores da fábrica da Logoplaste de Santa Iria da Azóia.

Agradeço de igual forma ao professor Mário Eusébio que se mostrou sempre disponível para tirar dúvidas.

E por último, um agradecimento muito especial ao Eduardo Rodrigues, porque sem a sua ajuda não seria possível ter chegado ao final desta etapa.

As embalagens de plástico rígido já conquistaram um papel importante no nosso dia-a-dia. A fábrica de Santa Iria da Azóia utiliza o processo de *In Mould Labelling* (IML) para produzir embalagens para manteigas e margarinas de prestigiados clientes.

O presente estudo encontra-se estruturado em duas partes: numa primeira parte é feita a aplicação das cartas de controlo aos pesos das embalagens produzidas na fábrica e numa segunda parte a análise do refugo.

Na primeira parte da dissertação começou-se por aplicar as cartas de controlo a duas máquinas que produzem o mesmo formato. Como se concluiu que o processo não se encontrava sob controlo estatístico, o que se devia à existência de inúmeras variáveis do processo, não se avançou para a construção das cartas de controlo das restantes máquinas.

Na segunda parte o principal objetivo era reduzir o refugo da fábrica através do desenvolvimento de ferramentas de apoio à correção de defeitos. No ano de 2015 o refugo da fábrica foi na ordem dos 0,6%. Estabeleceu-se como meta uma diminuição deste valor em 20%. De forma a selecionar o caso de estudo foi necessário recorrer ao histórico da fábrica. Identificaram-se duas máquinas como sendo as principais responsáveis pelo refugo. Tal facto deve-se à combinação de dois fatores: um elevado grau de complexidade do processo e um elevado número de horas de trabalho.

Selecionou-se um conjunto de ferramentas, nomeadamente as sete ferramentas da qualidade, e recorreram-se a conceitos adquiridos durante a realização do curso para resolver os problemas identificados. Com o objetivo definido, efetuou-se uma análise dos principais defeitos, e concluiu-se que mais de 75% do refugo produzido está relacionado com a incorreta colocação da etiqueta na embalagem. Defeitos como embalagens com duas etiquetas e com etiquetas descentradas constituem respetivamente, 19 e 44% do total.

Da análise das várias referências que são utilizadas nas máquinas estudadas, concluiu-se que a referência com tonalidades douradas (etiqueta B) apresenta uma percentagem de embalagens não conformes mais elevada do que as restantes referências. Esta situação é justificada com o facto do tipo de pigmento utilizado ser diferente do das restantes referências e do peso médio da etiqueta ser inferior, o que leva a ajustes do processo sempre que é necessário trocar de produto.

No final do presente estudo podemos afirmar que o objetivo foi atingido, uma vez que a meta eram os 0,48 % de refugo e que o valor médio verificado desde dezembro a fevereiro foi na casa dos 0,49%.

Palavras-chave: *In Mould Labelling*, refugo, processo, defeitos, cartas de controlo

Rigid plastic packaging has won an important role in our day-to-day. The factory of Santa Iria da Azóia uses the process of In Mould Labelling (IML) to produce packaging for butters and margarines of prestigious clients.

The present study is structured in two parts: in the first part, we applied the control charts to the weight of the packages produced in the factory and in the second part we analyzed the scrap.

On the first part of the dissertation we applied the control charts to two machines that produce the same format. As it was concluded that the procedure was not under statistical control, which was due to the existence of numerous process variables, we didn't construct the control charts of the remaining machines.

On the second part of this study the focus was to reduce the scrap of the plant through the development of tools to support the correction of defects. In the year of 2015 the scrap was about 0,6%. It was established as a goal a decrease of this value by 20%. To select the case study, it was necessary to use the historical of the factory. Two machines were identified as being the main responsible for scrap. This is due to the combination of two factors: a high complexity of the process and high number of hours of work.

A set of tools was selected, namely the seven quality tools, and concepts acquired during the course were used to solve the problems identified. With the defined objective, an analysis of the main defects was made, and it was concluded that more than 75% of the refuse produced is related to the incorrect placement of the label. Defects as packaging with two labels and off-center labels constitute respectively 19 and 44% of the total. From the analysis of the various references that are used in the studied machines, it was concluded that the reference with golden tones (label B) presents a high percentage of non-conforming packages. This situation is justified by the fact that the type of ink used is different from that of the other references and that the average weight of the label is lower, which leads to process adjustments when it is necessary to change the product.

At the end of the present study we can say that the objective was achieved, since the goal was 0.48% of refuse and the average value verified from December to February was at 0.49%.

Keywords: In Mould Labelling, parameters, process, defects, control charts

Índice de Matérias

Capítulo 1 – Introdução	1
1.1. Enquadramento do tema	1
1.2. Objetivos da dissertação	1
1.3. Metodologia de estudo	2
1.4. Estrutura da dissertação	3
Capítulo 2 – Metodologia de estudo	5
2.1. Ferramentas da qualidade	5
2.1.1. Fluxograma	6
2.1.2. Folhas de Registo e Verificação	6
2.1.3. Histograma	7
2.1.4. Diagrama de Pareto	8
2.1.5. Diagrama Causa-e-efeito	8
2.1.6. Gráfico de Dispersão	9
2.1.7. Cartas de controlo	9
2.2. Tensão superficial	26
Capítulo 3 – Caracterização da empresa	29
3.1. A empresa	29
3.2. A Logoplaste Santa Iria	30
3.3. Matérias-primas utilizadas na fábrica	30
3.4. O processo de In Moul Labelling	31
3.5. Parâmetros do processo	32
3.6. Descrição das máquinas da fábrica	35
3.7. Classificação dos defeitos	36
Capítulo 4 – Seleção das máquinas	37
4.1. Construção das cartas de controlo	37
4.2. Análise do refugo	37
Capítulo 5 – Aplicação das Cartas de Controlo	39

5.1. Máquina 144	40
5.2. Máquina 145	47
5.3. Cartas conjuntas	61
5.4. Comparação das máquinas	68
Capítulo 6 – Análise do refugo	71
6.1. Justificação da recolha de dados	71
6.2. Avaliação do refugo por referência	72
6.3. Especificações das etiquetas.....	73
Capítulo 7 – Procedimento de correção de defeitos	77
Capítulo 8 - Problema das etiquetas coladas.....	87
8.1. Avaliação do problema	87
8.2. Possível solução para o problema.....	88
Capítulo 9 - Conclusões	91
Capítulo 10 - Referências Bibliográficas	95
Anexos	97
I. Cronograma.....	99
II. Diagrama de objetivos	101
III. Relação entre a dosagem da máquina e o índice de fluidez da matéria-prima principal 103	
IV. Tabela do Qui-quadrado.....	105
V. Tabela para determinação do Dcrítico	107
VI. Tabela para construção das cartas de controlo	109
VII. Passos intermédios da construção das cartas de controlo	111
VIII. Tabela da Normal reduzida	119
IX. Tabela do t-Student	121
X. Tabela da distribuição de Fisher	123
XI. Medição de ângulos de contacto.....	125

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Fluxograma	6
Figura 2.2 – Histograma	7
Figura 2.3 - Exemplo de diagrama de Pareto	8
Figura 2.4 - Diagrama de Ishikawa ou causa-e-efeito.....	9
Figura 2.5 - Carta de controlo.....	10
Figura 2.6 - Função de Auto-Correlação Estimada (FACE).....	13
Figura 2.7 – Função de Auto-correlação Parcial Estimada (FACPE)	14
Figura 2.8 - Ângulos de contacto; adaptado de Abdallah, 2007	27
Figura 4.1 – Seleção do caso de estudo	38
Figura 5.1 – Fluxograma da construção das cartas	39
Figura 5.2 - Gráfico das observações individuais (peso das embalagens).....	40
Figura 5.3 - Função de auto-correlação	42
Figura 5.4 - Função de auto-correlação parcial	42
Figura 5.5 - Carta \bar{X} (peso das embalagens)	44
Figura 5.6 - Carta S (peso das embalagens).....	46
Figura 5.7 - Verificação das regras para deteção de causas especiais de variação (carta \bar{X})	46
Figura 5.8 - Verificação das regras para deteção de causas especiais de variação (carta S)	47
Figura 5.9 - Gráfico das observações individuais (peso das embalagens).....	48
Figura 5.10 - Função de auto-correlação	49
Figura 5.11 - Função de auto-correlação parcial	49
Figura 5.12 - Carta \bar{X} (peso das embalagens)	51
Figura 5.13 - Carta S (peso das embalagens).....	52
Figura 5.14 - Carta \bar{X} (peso das embalagens)	54
Figura 5.15 - Carta S (peso das embalagens).....	55
Figura 5.16 - Carta \bar{X} (peso das embalagens)	56
Figura 5.17 - Carta S (peso das embalagens).....	57
Figura 5.18 - Carta \bar{X} (peso das embalagens)	58
Figura 5.19 - Carta S (peso das embalagens).....	59
Figura 5.20 - Aplicação das regras de deteção de causas especiais de variação (carta \bar{X}) ..	59
Figura 5.21 - Aplicação das regras de deteção de causas especiais de variação (carta S)...	60
Figura 5.22 - Gráfico das observações individuais (peso das embalagens)	61
Figura 5.23 - Função de auto-correlação	62
Figura 5.24 - Função de auto-correlação parcial	62
Figura 5.25 - Carta \bar{X} (peso das embalagens)	64
Figura 5.26 - Carta S (peso das embalagens).....	65

Figura 5.27 - Carta <i>X</i> (peso das embalagens)	67
Figura 5.28 - Carta <i>S</i> (peso das embalagens).....	67
Figura 5.29 - Verificação das regras para detecção de causas especiais de variação (carta <i>S</i>)	68
Figura 6.1 – Diagrama de Pareto da máquina 145	72
Figura 6.2 - Análise do refugo por referência	72
Figura 6.3 - Percentagem de embalagens com etiqueta descentrada por referência	73
Figura 6.4 - Estiramento da etiqueta	74
Figura 6.5 - Peso médio por referência	74
Figura 7.1 - Diagrama de Ishikawa para embalagens com V's.....	77
Figura 7.2 - Diagrama de Ishikawa para etiquetas descentradas.....	79
Figura 7.3 - Diagrama de Ishikawa para embalagens com várias etiquetas	80
Figura 7.4 - Diagrama de Ishikawa para embalagens sem etiqueta	80
Figura 7.5 - Diagrama de Ishikawa para embalagens incompletas	81
Figura 7.6 - Diagrama de Ishikawa para embalagens com excesso de material	82
Figura 7.7 - Diagrama de Ishikawa para embalagens deformadas	83
Figura 8.1– Acondicionamento atual.....	88
Figura 8.2 - Novo acondicionamento.....	88
Figura 8.3 - Zonas de leitura dos ângulos de contacto	89
Figura 9.1 - Análise do refugo	92
Figura I.1 - Cronograma	99
Figura II.1 - Diagrama de objetivos	101
Figura III.1 - Dosagem vs índice de fluidez	103
Figura IV.1 - Distribuição do Qui-quadrado; adaptado de Requeijo (2012)	105
Figura V.1 - Tabela para determinação do Dcrítico; adaptado de Requeijo (2012)	107
Figura VI.1 - Fatores para construção das cartas de controlo de variáveis; adaptado de Requeijo (2012)	109
Figura VII.1 - Gráfico das observações individuais	111
Figura VII.2 - Gráfico das observações individuais	111
Figura VII.3 - Gráfico das observações individuais (peso das embalagens)	112
Figura VII.4 - Gráfico das observações individuais (peso das embalagens)	112
Figura VII.5 - Gráfico das observações individuais (peso das embalagens)	113
Figura VII.6 - Gráfico das observações individuais (carta conjunta dos pesos das embalagens).....	113
Figura VII.7 - Gráfico das observações individuais (carta conjunta dos pesos das embalagens).....	114
Figura VIII.1 - Distribuição Normal reduzida	119
Figura IX.1 - Tabela de t-Student	121
Figura X.1 - Tabela de distribuição de Fisher	123
Figura XI.1 - Zonas de leitura dos ângulos de contacto.....	125

Índice de tabelas

Tabela 2.1 - Folha de registo e verificação	7
Tabela 2.2 - Tipos de cartas de controlo	19
Tabela 5.1 - Média dos pesos das duas cavidades da máquina 144	41
Tabela 5.2 - Dados utilizados na construção da carta \bar{X}	44
Tabela 5.3 - Pesos médios das embalagens por cavidade	48
Tabela 5.4 - Dados usados para construção da carta \bar{X}	51
Tabela 5.5 - Dados utilizados no calculo dos limites da carta \bar{X}	53
Tabela 5.6 - Dados usados para construção das cartas	64
Tabela 5.7 - Dados utilizados na construção da carta S	65
Tabela 8.1 - Valor da tensão interfacial líquido-vapor da água.....	89
Tabela 8.2 – Resultados do teste (Etiqueta A – Etiqueta verde e branca)	89
Tabela 8.3 – Resultados do teste (Etiqueta B – Etiqueta dourada e branca)	89
Tabela 9.1 - Tabela de verificação dos objetivos	92
Tabela XI.1 - Resultados Zona 1 (Etiqueta A).....	126
Tabela XI.2 - Resultados Zona 2 (Etiqueta A).....	126
Tabela XI.3 - Resultados Zona 3 (Etiqueta A).....	126
Tabela XI.4 - Resultados Zona 1 (Etiqueta B).....	127
Tabela XI.5 - Resultados Zona 2 (Etiqueta B).....	127
Tabela XI.6 - Resultados Zona 3 (Etiqueta B).....	127

Listas de abreviaturas, siglas e símbolos

IML - *In Mould Labelling*

TP – Tampus

FN – Fundos

MB – *Masterbatch*

PP – Polipropileno

SPC – *Statistical Process Control*

N – Número total de amostras

n – Dimensão da amostra

m – Número de amostras

N – Distribuição normal

μ_{ω} – Média da distribuição ω

σ^2_{ω} – Variância da distribuição ω

t – Instante temporal

k – Desfasamento temporal

FAC – Função de Auto-Correlação

FACE – Função de Auto-Correlação Estimada

FACPE – Função de Auto-Correlação Parcial Estimada

ρ_k – Coeficiente de correlação do conjunto k

X – Variável aleatória

$Cov(X_t, X_{t+k})$ – Covariância de observações desfasadas de k instantes

$Var(X)$ – Variância de X

γ_k – Auto-covariância de desfasamento k

γ_0 – Auto-covariância de desfasamento $k=0$ ou variância de X .

r_k – Estimador do ρ_k

c_k – Estimativa de γ_k

$E(r_k)$ – Valor esperado de r_k

α – Nível de significância

ϕ_{kk} – Coeficientes de auto-correlação

\bar{X} – Média

R – Amplitude

S – Desvio padrão

CUSUM – Carta de Somas Acumuladas

EWMA – Carta da Média Móvel Exponencialmente Amortecida

V – Matriz das covariâncias

R – Matriz de correlação

H_0 – Hipótese nula

H_1 – Hipótese alternativa

I – Matriz identidade

ν – Graus de liberdade

N_A – Número de sequências acima da linha central

N_B - Número de sequências abaixo da linha central

N – Número total de sequências

μ_R – Média da distribuição R

σ_R^2 – Desvio padrão da distribuição R

Z_R – Estatística de teste do teste das sequências

$S(x)$ – Função de Distribuição amostral

$F_0(x)$ - Função de Distribuição Normal

i – Número da amostra

D – Estatística de teste de Kolmogorov-Smirnov

$D_{crítico}$ – Valor comparativo da estatística de teste

LIC – Limite Inferior de Controlo

LSC – Limite Superior de Controlo

LC – Linha central

ARL – *Average Run Length*

β – Probabilidade de ocorrência de um erro do tipo II

\bar{X}_i – Média da amostra i

S_i - Desvio padrão da amostra i

$\bar{\bar{X}}$ – Média global

\bar{S} – Desvio padrão médio

$\hat{\sigma}_{\bar{X}}$ – Desvio padrão da distribuição amostral de médias

μ_S – Média dos desvios padrões

$E(S)$ – Valor esperado da distribuição S

σ_S - Desvio padrão da distribuição S

γ_4 – Constante utilizada em detrimento de c_4 quando os dados são auto-correlacionados

v – Soma dos elementos da matriz V

Ω – Soma dos elementos da matriz V^2

$tr(\cdot)$ – Traço da matriz

MFR – *Melt Flow Rate* (Índice de Fluidez)

C_p – Índice de Capacidade Potencial

C_{pk} – Índice de Capacidade

H_0 – Hipótese nula

H_1 – Hipótese alternativa

S_p^2 – Variância combinada

t_0 – Estatística de teste da comparação de duas médias de distribuições Normais

F_0 – Estatística de teste da comparação de duas variâncias de distribuições Normais

Parte I

Capítulo 1 – Introdução

1.1. Enquadramento do tema

Os polímeros conquistaram um lugar importante no nosso dia-a-dia, revolucionando a forma como os produtos finais chegam às nossas mãos. Estão presentes em vários sectores, tais como na indústria alimentar, na construção civil, na indústria automóvel, de cuidado pessoal, entre outros. A utilização de embalagens de plástico rígido para a indústria alimentar apresenta inúmeras vantagens, tais como a proteção e conservação, mas uma vez que esses produtos vão estar em contacto com os alimentos é necessário assegurar que estas embalagens não constituem um perigo para a saúde dos seus consumidores.

Atualmente verifica-se um elevado crescimento da competitividade entre empresas do mesmo sector, pelo que é necessário que as empresas desenvolvam ferramentas ou métodos que lhe permitam ganhar vantagem face aos seus grandes concorrentes. Na sociedade atual trabalham-se com margens muito pequenas pelo que se torna imprescindível avaliar e eliminar, ou reduzir, todas as atividades que não acrescentam valor ao produto final, tendo sempre em conta a satisfação do cliente e a garantia de qualidade.

Requeijo (2012) afirma que é extremamente importante que os processos produtivos sejam estáveis e que operem com o mínimo de variabilidade em torno do valor alvo das características da qualidade. Assim é possível garantir simultaneamente a qualidade do produto, com o mínimo de desperdício. Gedjos (2015) afirma que numa organização orientada para a qualidade devemos saber a que nível somos capazes de satisfazer as expectativas dos clientes.

1.2. Objetivos da dissertação

Com a presente dissertação esperam-se conseguir resultados que vão ao encontro às necessidades da empresa. Como até à data não foram aplicadas cartas de controlo às características das embalagens produzidas na fábrica, um dos principais objetivos desta

dissertação passa por construir as cartas de controlo do peso das embalagens. Através da aplicação de cartas de controlo pretende-se acompanhar o processo de forma a identificar as eventuais causas de variabilidade e, se possível sugerir ações de melhoria.

Na segunda parte do estudo, pretende-se avaliar o processo e desenvolver ferramentas que permitam reduzir o refugo da fábrica em 20%. Como resultado da análise diária do refugo e dos principais defeitos, espera-se chegar a uma conclusão sobre quais os defeitos com maior incidência e quais as referências com maior contribuição para o refugo. Com base nos resultados obtidos será possível enumerar quais as causas para a ocorrência de tais situações e quais as soluções. Do acompanhamento da produção e da análise de todas as variáveis do processo listam-se as principais formas de correção dos defeitos com o intuito de desenvolver um ficheiro de correção destes.

Paralelo à realização da dissertação, de forma a desenvolver competências e conhecer os métodos de trabalho da empresa, irão ser acompanhadas as tarefas diárias da equipa da qualidade, nomeadamente, tarefas inerentes à receção e aprovação das matérias-primas, controlo de qualidade, tratamento de reclamações do cliente, testes de rastreabilidade, auditorias externas, entre outros.

Para o conhecimento e cumprimento das normas e procedimentos, durante o decorrer da dissertação serão obtidas formações no âmbito da Higiene e Segurança, Boas práticas de fabricação, *Food Defense* e de HACCP (*Hazard Analysis Critical Control Point*).

O cronograma encontra-se disponível no anexo I.

1.3. Metodologia de estudo

De forma a construir as cartas de controlo, começamos por recolher os pesos das embalagens de duas máquinas que produzem o mesmo formato. Esta recolha dos pesos é efetuada no turno da manhã (7-15 h) sempre que alguma das máquinas esteja a produzir.

Na segunda parte da dissertação é necessário fazer uma análise do histórico do refugo da fábrica de modo a analisar quais as máquinas que nos vamos focar. Os desenvolvimentos práticos referentes ao refugo das máquinas estudadas dizem respeito à sua quantificação e classificação por defeito. A recolha de dados será realizada, à semelhança do caso anterior, durante o turno da manhã. Para além dos dados relativos ao refugo, ir-se-á recolher informação sobre os parâmetros do processo, das condições da sala de produção e dos lotes das matérias-primas. São ainda acompanhadas as operações de afinação de certos parâmetros da máquina na tentativa de corrigir os defeitos.

Findo o processo de recolha de dados, recorrem-se às sete ferramentas da qualidade, a conceitos adquiridos com a realização do curso e realizam-se sessões de *brainstorming* para avaliar os resultados.

No anexo II encontram-se esquematizadas as etapas do estudo realizado.

1.4. Estrutura da dissertação

Este trabalho encontra-se dividido em duas partes. A **parte I** é constituída por dois capítulos onde é apresentado o tema e onde são abordados todos os conceitos teóricos inerentes às metodologias aplicadas. Na **parte II** apresenta-se o caso de estudo.

Capítulo 1 – Introdução: é realizado o enquadramento do tema desenvolvido na dissertação, os objetivos que se pretendem alcançar e quais as metodologias utilizadas para cumprir tais metas.

Capítulo 2 – Metodologia de estudo: neste capítulo apresentam-se em detalhe as ferramentas da qualidade utilizadas para resolução de problemas e faz-se ainda uma breve introdução à temática da tensão superficial.

Capítulo 3 – Caracterização da empresa: nesta parte faz-se a apresentação da empresa onde foi desenvolvido o trabalho, das matérias-primas utilizadas, do processo, das máquinas e de como é feita a classificação dos defeitos.

Capítulo 4 – Seleção das máquinas: neste capítulo justifica-se a escolha das máquinas que serão alvo do nosso estudo, tanto na primeira como na segunda parte.

Capítulo 5 – Aplicação de carta de controlo: neste capítulo constroem-se as cartas de controlo para as máquinas estudadas, analisa-se a capacidade do processo e faz-se ainda uma comparação entre os parâmetros do processo de ambas as máquinas.

Capítulo 6 – Análise do refugo: da análise do refugo, constitui-se a listas dos principais defeitos e identifica-se a referência com maior contribuição para este. São ainda analisadas algumas características das etiquetas, nomeadamente o peso, as dimensões e o sentido de estiramento.

Capítulo 7 – Procedimento de correção de defeitos: são enumerados quais os parâmetros que é necessário ter em conta quando se pretende corrigir cada tipo de defeito.

Capítulo 8 – Problema das etiquetas coladas: neste capítulo apresenta-se uma solução para o problema de etiquetas coladas verificado em alguns lotes.

Capítulo 9 – Conclusões: neste último capítulo enumeram-se as principais conclusões obtidas durante todo o período de realização da dissertação e ainda são propostos alguns trabalhos futuros.

Capítulo 2 – Metodologia de estudo

O presente capítulo encontra-se estruturado em duas partes. Na primeira parte apresentam-se as sete ferramentas da qualidade que irão ser utilizadas na resolução de problemas. Numa segunda parte irá ser feita uma breve introdução ao tema da tensão superficial, onde serão abordados os principais desenvolvimentos e conceitos.

2.1. Ferramentas da qualidade

O recurso a ferramentas da qualidade para a resolução de problemas atinge o seu potencial máximo quando a sua utilização é feita em equipas pluridisciplinares. O *brainstorming* constitui um importante método de geração de ideias e é imprescindível quando se trata da aplicação de qualquer uma das sete ferramentas básicas da qualidade (Requeijo, 2012).

Nas sessões de brainstorming que irão ser realizadas durante o decorrer desta dissertação irão estar presente os dois engenheiros da fábrica, assim como o responsável pela manutenção e pela produção.

Durante o século XX foram desenvolvidas sete Ferramentas da Qualidade, que embora sejam simples e de fácil aplicação, podem ser utilizadas na resolução dos mais variados problemas (Requeijo, 2012). Atualmente estas ferramentas são aplicadas tanto na indústria como em empresas prestadoras de serviços. (Montgomery, 2009)

As ferramentas usadas para a resolução de problemas são:

- Fluxograma
- Folhas de Registo e Verificação
- Histograma
- Diagrama de Pareto
- Diagrama Causa-e-efeito
- Gráfico de Dispersão
- Cartas de controlo

2.1.1. Fluxograma

Juran (1998) indica que “a anatomia do processo de produção é uma *procissão*”. Ou seja, o processo consiste numa sequência de etapas, sendo que em cada uma é executada uma tarefa específica. Na maioria dos casos, nem todos os membros de uma equipa de produção estão familiarizados com o processo, pelo que a constituição de um diagrama ajuda a que todos os membros possam conhecer a dita “*procissão*”.

Requeijo (2012) indica que com um fluxograma é possível ilustrar de forma ordenada as diversas etapas, entradas e saídas, que culminam no produto final.

Na presente dissertação recorre-se a fluxogramas para ilustrar os desenvolvimentos teóricos relativos à construção das cartas de controlo. Na figura 2.1 encontra-se ilustrado um fluxograma.

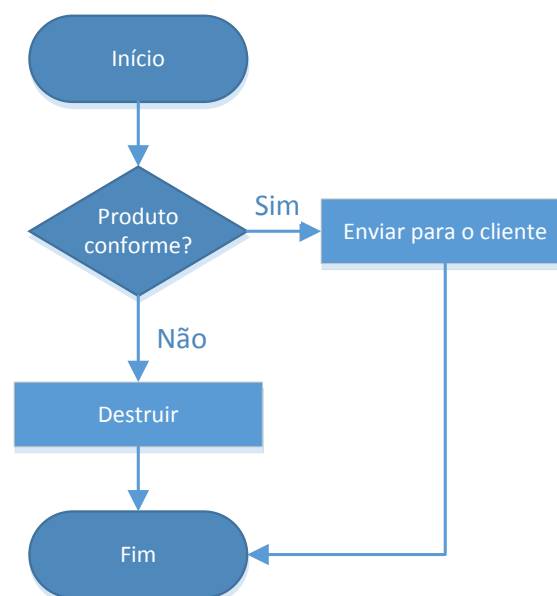


Figura 2.1 – Fluxograma

2.1.2. Folhas de Registo e Verificação

As folhas de registo e verificação também podem ser denominadas de formulários de recolha de dados. São utilizadas para permitir caracterizar a ocorrência de acontecimentos e ajudam a formular soluções. Na elaboração das folhas deve-se definir claramente a situação a estudar, conceber o formato da folha, decidir sobre o período de recolha de dados e recolher corretamente os dados (Requeijo, 2012).

Elaboraram-se folhas para facilitar e organizar o processo de recolha de dados. Os dados a recolher estarão relacionados com o peso total das embalagens não conformes, o peso por referência e a quantificação do número de embalagens não conformes por defeito. Chegou-se à conclusão, após as reuniões com o orientador da dissertação, que os dados do refugo iriam ser recolhidos diariamente e que diriam respeito a um turno de produção, de forma a que fosse possível acompanhar todo o processo produtivo. Também iria ser recolhida informação sobre características das etiquetas. Na tabela 2.2, apresenta-se o exemplo da folha de registo organizada para recolha dos pesos médios das etiquetas por lote.

Tabela 2.1 - Folha de registo e verificação

Data de recolha da informação:		
Período de recolha:		
Designação da referência	Peso médio (g)	Lote etiqueta
A - Etiqueta verde e branca		
B - Etiqueta dourada e branca		
C - Etiqueta amarela		
D - Etiqueta amarela e branca		

2.1.3. Histograma

Um histograma é um gráfico de barras que ilustra a frequência de ocorrência dos valores de uma dada variável. Fornece-nos informação sobre a dispersão e a localização dos valores recolhidos (Requeijo, 2012). Na figura 2.2 podemos ver um histograma do número de defeitos numa peça.

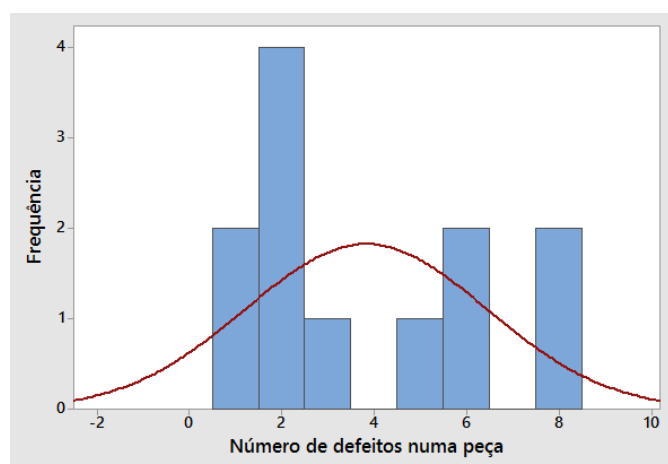


Figura 2.2 – Histograma

No presente estudo, os histogramas são utilizados para, por exemplo, verificar se os dados seguem uma dada distribuição estatística.

2.1.4. Diagrama de Pareto

O diagrama de Pareto foi desenvolvido por Vilfredo Pareto, o qual constatou que apenas um número reduzido de pessoas detinha grande parte da riqueza existente (Requeijo, 2012). Juran (1998) aplicou este princípio à qualidade, afirmando que “80% dos problemas existentes num processo produtivo são causados por 20% das causas possíveis de os provocar”.

Na figura 2.3 podemos observar um diagrama de Pareto para o número de defeitos encontrados numa peça.

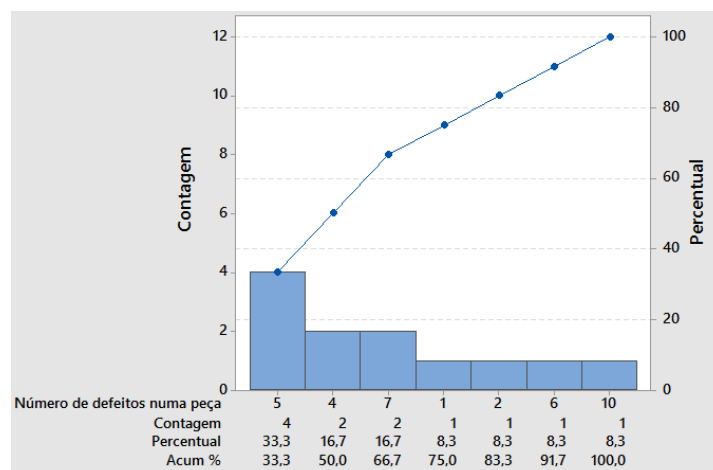


Figura 2.3 - Exemplo de diagrama de Pareto

Este tipo de diagrama irá ser utilizado para tirar conclusões sobre quais os defeitos que se verificam com maior frequência.

2.1.5. Diagrama Causa-e-efeito

O diagrama de causa-e-efeito (figura 2.4) foi desenvolvido por Kaoru Ishikawa em 1943. A utilização deste tipo de diagrama é particularmente adequada para o desenvolvimento do trabalho em equipa. A construção do diagrama passa por cinco fases (Requeijo, 2012):

1. Definir o problema.

2. Identificar as causas do problema (em contexto industrial consideram-se seis categorias de causas gerais, os 6M, ou seja, a mão-de-obra, os métodos, o meio, as máquinas, os materiais e as medições).
3. Uma vez concluído o diagrama, seleccionam-se as causas com maior probabilidade de estar na origem do problema.
4. Definir e implementar ações corretivas.
5. Avaliar a eficácia das ações implementadas.

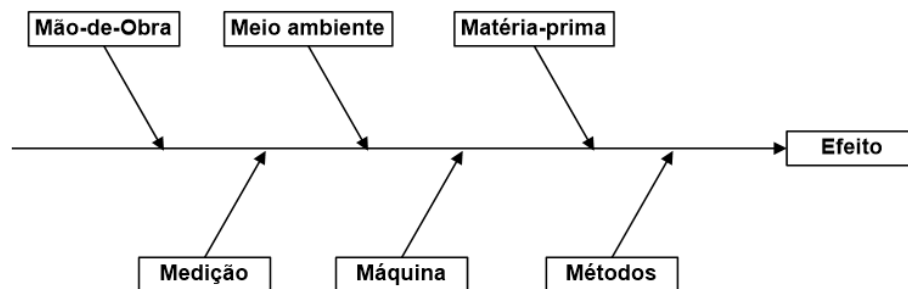


Figura 2.4 - Diagrama de Ishikawa ou causa-e-efeito

Findo o processo de recolha de dados, passa-se a sua análise em grupo. Nas sessões de *brainstorming* recorrem-se aos diagramas mencionados anteriormente para ajudar a chegar às conclusões descritas nos capítulos que se seguem.

2.1.6. Gráfico de Dispersão

Um gráfico de dispersão permite visualizar a relação entre duas quaisquer variáveis. O valor do coeficiente de correlação linear permite-nos qualificar a relação existente entre as duas variáveis. Se o coeficiente de correlação for aproximadamente 1, significa que existe uma forte correlação positiva entre as duas variáveis, se for próximo de -1, a correlação é fortemente negativa.

Os gráficos de dispersão foram utilizados para verificar se existiam relações entre as variáveis do processo.

2.1.7. Cartas de controlo

Uma carta de controlo consiste num gráfico onde vamos representando a evolução da estatística (ω) ao longo do tempo referente a uma característica da qualidade. Com os dados

obtidos podemos determinar os limites superiores (*LSC*) e inferior (*LIC*) de controlo, a linha central e ainda os parâmetros do processo. Esta é designada como fase 1 da construção das cartas de controlo. Na figura 2.5 podemos observar uma carta de controlo utilizada no controlo do diâmetro de veios usados na indústria automóvel.

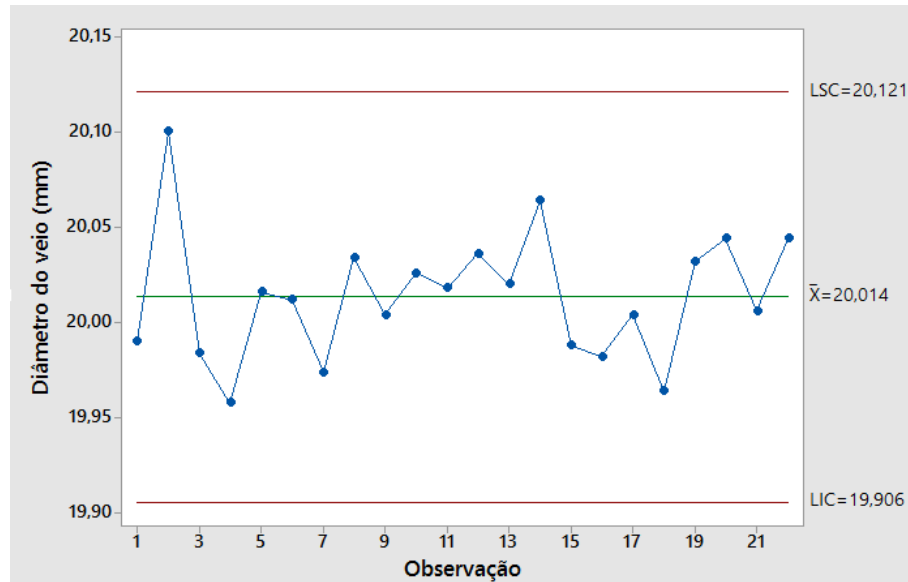


Figura 2.5 - Carta de controlo

Se observarmos um padrão aleatório, podemos afirmar que o processo se encontra sob controlo estatístico. Se uma ou mais observações não pertencerem aos limites definidos ou se se verificar um comportamento não aleatório, então conclui-se que o processo não está sob controlo estatístico. Devem ser investigadas as eventuais causas especiais de variação para que se possam estabelecer ações corretivas.

Com base nas cartas obtidas na fase 1 podemos inferir sobre a capacidade do processo, ou seja, se conseguimos cumprir com as especificações do cliente. Na segunda fase há uma monitorização do processo através da introdução dos valores recolhidos nas cartas.

Recolha de dados

Requeijo (2012) sugere que devem ser recolhidas m amostras de dimensão n , tal que se verifique:

$$N = m \times n \geq 100 \quad (2.1)$$

Condições de aplicabilidade das cartas de controlo

Para uma correta aplicação das cartas de controlo os dados utilizados devem ser aleatórios, independentes e Normalmente distribuídos $N(\mu_\omega, \sigma^2_\omega)$.

- **Aleatoriedade dos dados**

Segundo Requeijo (2012) a não aleatoriedade dos dados pode ser devida a mistura de populações, correlação entre observações consecutivas ou desfasadas no tempo. Existem vários métodos para avaliar a aleatoriedade dos dados, tais como o teste das sequências, o teste das sequências ascendentes e descendentes e o teste modificado do quadrado médio das diferenças sucessivas. Para estudar a aleatoriedade dos dados considerou-se o *Teste das Sequências*. Uma sequência é definida como sendo um conjunto de observações que seguem um mesmo padrão (Requeijo, 2012). Para aplicação deste teste consideramos dois tipos de observações: as do tipo A e do tipo B, que são respetivamente as observações que se encontram acima e abaixo da linha central.

Assim, tem-se que:

$$N_A + N_B = N \quad (2.2)$$

O teste das sequências é definido por:

$$H_0: A \text{ amostra é aleatória} \quad (2.3)$$

$$H_1: A \text{ amostra não é aleatória}$$

Para $N \geq 25$, podemos aproximar a distribuição da variável R à Normal. Os parâmetros da distribuição R (número de sequências) são definidos pelas equações 2.4 e 2.5.

$$\mu_R = \frac{2N_A N_B}{N} + 1 \quad (2.4)$$

$$\sigma_R^2 = \frac{2N_A N_B (2N_A N_B - N)}{N^2 (N - 1)} \quad (2.5)$$

A estatística de teste é dada por:

$$Z_R = \frac{R - \mu_R}{\sigma_R} \quad (2.6)$$

Rejeita-se a Hipótese Nula, ou seja, conclui-se que a amostra não é aleatória, caso se verifique que:

$$|Z_R| > Z_{\frac{\alpha}{2}} \quad (2.7)$$

Independência dos dados

O primeiro passo na implementação de cartas de controlo consiste na verificação da independência dos dados. Quando falamos de dados independentes queremos dizer que não existe uma auto-correlação significativa entre esses dados, ou seja, o valor que uma dada característica toma no instante t não depende do seu valor no instante anterior ($t - 1$), nem em qualquer instante desfasado de k instantes ($t - k$) (Requeijo, 2012).

Se existir auto-correlação dos dados, e se se assumir que os dados são independentes, os limites e os parâmetros do processo irão ser incorretamente estimados.

Requeijo (2012) afirma que para verificar se os dados são ou não independentes aplica-se a função de auto-correlação (FAC) e a função de auto-correlação parcial (FACP).

- **Função de auto-correlação (FAC)**

A correlação entre quaisquer duas observações que estejam desfasadas de k instantes designa-se de auto-correlação de desfasamento k . Esta auto-correlação é definida através de um coeficiente de correlação (ρ_k). A *Função de Auto-Correlação* (FAC) consiste no conjunto formado pelos $k = 0, 1, 2, \dots$ coeficientes de correlação e é dada pela equação 2.8.

$$\rho_k = \frac{Cov(X_t, X_{t+k})}{Var(X)} = \frac{\gamma_k}{\gamma_0}, k = 0, 1, 2, \dots \quad (2.8)$$

Onde se tem:

$Cov(X_t, X_{t+k})$ – Covariância de observações desfasadas de k instantes

$Var(X)$ – Variância de X

γ_k – Auto-covariância de desfasamento k

γ_0 – Auto-covariância de desfasamento $k=0$ ou variância de X .

Como se desconhece a função de auto-correlação é necessário estimá-la com base nos valores que apresenta a variável aleatória X ($X_1, X_2, \dots, X_k, \dots, X_N$). O estimador de ρ_k é dado por:

$$r_k = \hat{\rho}_k = \frac{\hat{\gamma}_k}{\hat{\gamma}_0} = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (X_t - \bar{X})(X_{t+k} - \bar{X})}{\sum_{t=1}^N (X_t - \bar{X})^2}, k = 0, 1, 2, \dots \quad (2.9)$$

A estimativa da auto-covariância γ_k é definida por c_k :

$$c_k = \hat{\gamma}_k = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-k} (X_t - \bar{X})(X_{t+k} - \bar{X}), k = 0, 1, 2, \dots \quad (2.10)$$

O conjunto dos r_k designa-se *Função de Auto-correlação Estimada* (FACE). De forma a verificar a possível auto-correlação entre dados, constrói-se um *Correlograma*, que consiste na representação dos dados da variável X em função de k . Se os dados pertencerem ao intervalo de confiança, não existe nenhuma evidência de auto-correlação entre dados. O intervalo de confiança é determinado com base no valor esperado e na variância de r_k . Demonstra-se que $E(r_k) \approx 0$, sendo $Var(r_k)$ calculada a partir da equação 2.11.

$$Var(r_k) \approx \frac{1}{N} \sum_{v=-\infty}^{+\infty} (\rho_v^2 + \rho_{v+k}\rho_{v-k} - 4\rho_k\rho_v\rho_{v-k} + 2\rho_v^2\rho_k^2) \quad (2.11)$$

Um bom estimador de $Var(r_k)$ é definido por:

$$Var(r_k) \approx \frac{1}{N} (1 + 2 \sum_{v=1}^{k-1} r_v^2) \quad (2.12)$$

Como r_k apresenta uma distribuição aproximadamente Normal $r_k \sim N(0, Var(r_k))$, o intervalo de confiança é dado pela expressão 2.13.

$$-Z_{\frac{\alpha}{2}}\sqrt{\hat{v}} \leq r_k \leq Z_{\frac{\alpha}{2}}\sqrt{\hat{v}} \quad (2.13)$$

Na figura 2.6. podemos observar o gráfico corresponde a uma FACE.

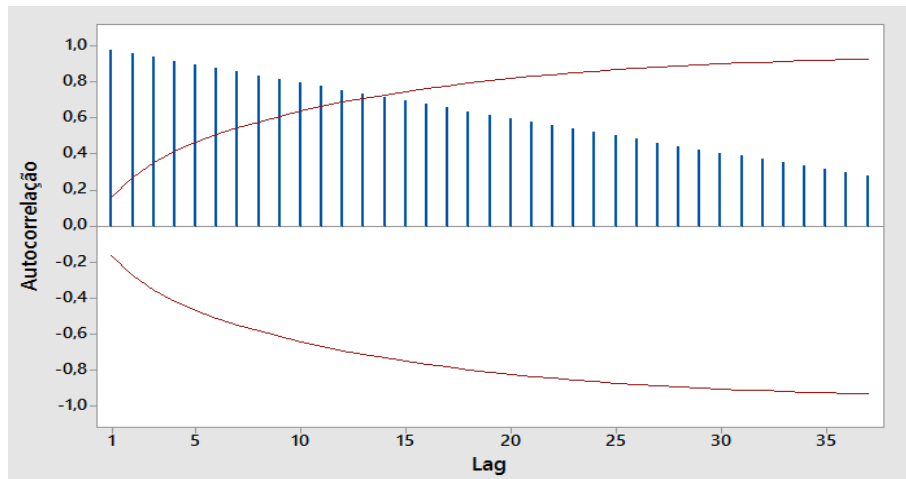


Figura 2.6 - Função de Auto-Correlação Estimada (FACE)

Por observação da figura anterior, conclui-se que os dados são auto-correlacionados, uma vez que não pertencem ao intervalo de confiança.

- **Função de Auto-Correlação Parcial**

Segundo Requeijo (2012), a função auto-correlação parcial de desfasamento k é definida como a correlação entre X_t e X_{t+k} com os efeitos das observações $(X_{t+1}, X_{t+2}, \dots, X_{t+k-1})$ removidos. A *Função de Auto-Correlação Parcial* (FACP) é definida pelo conjunto formado pelos coeficientes de auto-correlação parcial ϕ_{kk} para $k = 0, 1, 2, \dots$.

A auto-correlação parcial é determinada recorrendo a:

$$\begin{bmatrix} 1 & \rho_1 & \rho_2 & \dots & \rho_{k-1} \\ \rho_1 & 1 & \rho_1 & \dots & \rho_{k-2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \rho_{k-1} & \rho_{k-2} & \rho_{k-3} & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_{k1} \\ \phi_{k2} \\ \vdots \\ \phi_{kk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho_1 \\ \rho_2 \\ \vdots \\ \rho_k \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

Em notação matricial:

$$\phi_k = P_k^{-1} \rho_k \quad (2.15)$$

Como se desconhece ϕ_{kk} , é necessário estimá-los. Substituem-se os valores de ρ_k pelos valores estimados de r_k na expressão 2.9, obtendo-se as estimativas de $\hat{\phi}_{11}, \hat{\phi}_{22}, \dots$. Chama-se *Função de Auto-Correlação Parcial Estimada* (FACPE) (figura 2.7) ao conjunto formado pelos coeficientes de auto-correlação estimados. Para se verificar se a auto-correlação parcial para o instante k tem um efeito significativo, testa-se se os valores de ϕ_{kk} são significativamente diferentes de zero. O intervalo de confiança, para um nível de significância α , que permite testar a hipótese anterior é descrito pela equação 2.16.

$$-Z_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\text{Var}(\hat{\phi}_{kk})} \leq \hat{\phi}_{kk} \leq Z_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\text{Var}(\hat{\phi}_{kk})} \quad (2.16)$$

Onde se tem:

$$\text{Var}(\hat{\phi}_{kk}) \approx \frac{1}{N}, k > p \quad (2.17)$$

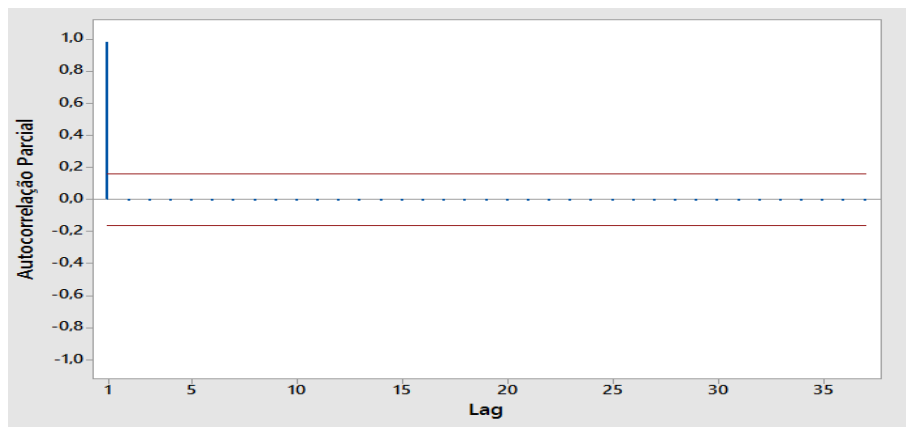


Figura 2.7 – Função de Auto-correlação Parcial Estimada (FACPE)

Se chegarmos à conclusão que existe auto-correlação, existem três abordagens que podemos seguir (Requeijo, 2012):

1. Utilizar as cartas de Shewart, CUSUM ou EWMA com os limites de controlo modificados, tendo em conta a auto-correlação verificada. As cartas \bar{X} , R e S com limites modificados podem ser aplicadas, tendo em conta a função auto-correlação ρ_k .
2. Determinar o modelo matemático que se ajusta aos dados auto-correlacionados e constroem-se cartas de controlo dos resíduos ou dos erros de previsão.
3. Implementação de cartas específicas, como a carta MCEWMA ("Moving Centre-Line EWMA") e a carta EWMAST (EWMA para processos estacionários), que modifica os limites de controlo da carta EWMA convencional através da função de auto-correlação ρ_k .

Seguindo a abordagem número 1, temos como principal vantagem não ser necessário determinar o modelo matemático que se ajusta aos dados. Assim, os limites são determinados em função dos parâmetros do processo (ou suas estimativas) e do coeficiente de correlação ρ . Para a determinação de ρ considera-se que (Requeijo, 2012):

- Existem m amostras de dimensão n representando-se o subconjunto k por $\{x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kn}\}$ em que $k = 1, 2, \dots, m$.
- Cada subgrupo é uma realização do vetor aleatório $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$, distribuído segundo uma Normal multivariada $N(\mu, V)$, onde μ é o vector média e V a matriz das covariâncias, para $i, j = 1, 2, \dots, n$.
- Seja R a matriz de correlação, que é dada por $R = \{r_{ij}\}$ para $i, j = 1, 2, \dots, n$. Em que r_{ij} é o coeficiente de correlação.
- Os coeficientes de correlação da matriz de correlação R são dados por:

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{para } i = j, i, j = 1, 2, \dots, n \\ r_{ij}, \text{ com } |r_{ij}| \leq 1 & \text{para } i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (2.18)$$

O coeficiente de correlação médio é definido pela expressão 2.13.

$$\rho = \frac{\sum_{i \neq j} r_{ij}}{n(n-1)} \quad (2.19)$$

O método que se passa agora a descrever permite avaliar se a correlação entre amostras é significativa. O teste de hipótese a realizar é:

$$\begin{aligned} H_0: R &= I \\ H_1: R &\neq I \end{aligned} \quad (2.20)$$

Onde R é a matriz correlação e I a matriz identidade. Um conjunto de amostras que não exiba auto-correlação apresentará uma matriz correlação constituída toda por uns, ou seja, a matriz identidade.

A estatística de teste é definida pela equação 2.21.

$$\chi_c^2 = \left(\sum_{i \neq j} r_{ij}^2 \right) \left(m - 1 - \frac{2n + 5}{6} \right) \quad (2.21)$$

A regra de decisão, para um nível de significância α , é rejeitar H_0 quando se verificar:

$$\chi_c^2 > \chi_{\frac{\alpha}{2}, \nu}^2 \quad (2.22)$$

Com ν graus de liberdade:

$$\nu = \frac{n(n-1)}{2} \quad (2.23)$$

Concluindo assim, que existe efetivamente auto-correlação entre os dados.

- **Normalidade dos dados**

Para se proceder à verificação do pressuposto da Normalidade recorrem-se a testes como por exemplo, o teste do Qui-Quadrado ou o teste de Kolmogorov-Smirnov. Na presente dissertação recorreu-se ao teste de Kolmogorov-Smirnov, que segundo Requeijo (2012) consiste na verificação do ajustamento da Função de Distribuição amostral (empírica) $S(x)$, definida por $S(x) = P(X \leq x)$, à função de Distribuição Normal $F_0(x)$. O procedimento a adotar é o seguinte (Requeijo, 2012):

1. Especificar a Hipótese Nula e a Hipótese Alternativa

$$H_0 = F(x) = F_0(x), \text{ para todos os valores de } x \quad (2.24)$$

$$H_1 = F(x) \neq F_0(x), \text{ para algum valor } x$$

2. Retirar da população uma amostra aleatória constituída por n elementos
3. Ordenar por ordem crescente do seu valor os dados amostrais, designando por $x(i)$ a observação de ordem i , onde $x(i+1) > x(i)$.
4. Determinar os valores de $S(x)$, $F_0(x)$ e $|S(x) - F_0(x)|$, para $i = 1, 2, \dots, N$, em que $N \leq n$.
5. Determinar a estatística de teste, definida por:

$$D = \sup_x |S(x) - F(x)| \quad (2.25)$$

6. Definir o nível de significância α .
7. Comparar a estatística de teste D com o respectivo valor crítico ($D_{crítico}$).

Os valores de $D_{crítico}$ são determinados considerando a tabela disponível no anexo V. O critério de rejeição é o seguinte:

Rejeita-se a Hipótese Nula, para um nível de significância α se:

$$D > D_{crítico} \quad (2.26)$$

Concluindo-se, assim, que a distribuição não é Normal.

Procedimento para construção das cartas de controlo

A verificação da estabilidade do processo é um dos principais objetivos da fase 1. Segundo Requeijo (2012) o procedimento a adotar na fase 1 para a construção das cartas deve ser:

1. Selecionar a característica da qualidade.
2. Elaborar um plano de controlo onde conste a dimensão da amostra, a frequência da amostragem, o equipamento de medição e o método de medição.
3. Selecionar o tipo de carta.
4. Recolher m amostras de dimensão n perfazendo um total de N unidades ($N = m \times n$), de forma a que $N \geq 100$.
5. Calcular a estatística a controlar para cada uma das m amostras.
6. Determinar a linha central e os limites de controlo.
7. Verificar a existência de causas especiais de variação.
8. Eliminar os pontos que denotam causas especiais.
9. Determinar os limites revistos e a linha central.
10. Construir a carta de controlo revista.
11. Verificar se o processo apresenta unicamente causas comuns de variação.

Finda a construção das cartas de controlo e com as estimativas dos parâmetros do processo, podemos inferir sobre a capacidade deste para cumprir com a especificação do cliente.

Em relação à fase 2 deve-se (Requeijo, 2012):

1. Representar no gráfico a LC , o LSC e o LIC definidos na fase 1.
2. Recolher a amostra i , determinar a estatística ω_i e representar o valor no gráfico.
3. Verificar a existência de uma causa especial de variação.
4. Caso se detete uma situação de fora de controlo, deve-se identificar a causa e implementar ações corretivas.

5. Recolher a amostra $i + 1$, calcular ω_{i+1} e representar no gráfico.
6. Proceder sequencialmente de acordo com os pontos 3,4 e 5.

Os limites de ação de uma carta de Shewhart são construídos assumindo que a estatística (ω) segue uma distribuição aproximadamente Normal $N(\mu_\omega, \sigma_\omega^2)$.

Os limites são dados por:

$$\begin{aligned} LSC_\omega &= \mu_\omega + 3\sigma_\omega \\ LC_\omega &= \mu_\omega \\ LIC_\omega &= \mu_\omega - 3\sigma_\omega \end{aligned} \quad (2.27)$$

Supondo que ω é Normalmente distribuída, então a probabilidade de qualquer ponto se situar entre os limites de controlo é 99,73%. Portanto a probabilidade de um ponto não se encontrar dentro dos limites de controlo é $\alpha = 0.27\%$. A probabilidade α é designada por risco do tipo I (risco do produtor) ou nível de significância. (Requeijo, 2012)

Medidas de Desempenho das cartas de controlo

Segundo Requeijo (2012), o *ARL* (*Average Run Length*) é definido como sendo o número médio de pontos representados numa carta de controlo antes de um ponto indicar uma situação de fora de controlo, ou seja, do ponto não pertencer ao intervalo definido pelos limites de controlo.

$$ARL_{Em\ controlo} = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{0,0027} = 370 \quad (2.28)$$

Seja β a probabilidade de ocorrência de um erro do tipo II (erro do consumidor), isto é, assumir que o processo se encontra sob controlo estatístico, mas na realidade está fora de controlo.

$$ARL_{Fora\ de\ controlo} = \frac{1}{1 - \beta} \quad (2.29)$$

A carta que apresentar simultaneamente o maior valor de $ARL_{Em\ controlo}$ e de $ARL_{Fora\ de\ controlo}$ deve ser a seleccionada. (Requeijo, 2012)

Tipos de cartas de controlo

Existem dois tipos de cartas de controlo passíveis de aplicação (tabela 2.2): as cartas de controlo de variáveis e as cartas de atributos. São aplicadas as cartas de variáveis a características que possam ser expressas numa escala continua, como por exemplo,

dimensões ou pesos. As cartas de atributos são aplicadas a características que assumem valores discretos (0,1,2 ...) como por exemplo, o número de unidades não conformes.

Tabela 2.2 - Tipos de cartas de controlo

Variáveis	Atributos
Média e Amplitude Carta \bar{X} e Carta R	Proporção de unidades não conformes Carta p
Média e Desvio padrão Carta \bar{X} e Carta S	Número de unidades não conformes Carta np
Mediana e Amplitude Carta \tilde{X} e Carta R	Número de defeitos Carta c
Observações individuais e Amplitudes Móveis Carta X e Carta MR	Número de defeitos por unidade Carta u

Considerou-se a aplicação de cartas de controlo de variáveis, nomeadamente as cartas da média e do desvio padrão para o peso. Caso se constatasse que os dados não eram independentes, isto é, que existia auto-correlação, consideraram-se as mesmas cartas, mas desta vez tendo em conta o fator de correlação.

Cartas de controlo da média e do desvio padrão para dados independentes

A média e o desvio padrão (S_i) da amostra i são determinadas recorrendo às expressões 2.30 e 2.31.

$$\bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij} = \text{média da amostra } i \quad (2.30)$$

$$S_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X}_i)^2} = \text{desvio padrão da amostra } i \quad (2.31)$$

Como os parâmetros do processo são desconhecidos procede-se da seguinte forma:

- Cálculo da média global ($\bar{\bar{X}}$) e do desvio padrão médio (\bar{S})

A média global e o desvio padrão médio correspondem aos valores da linha central na carta da média e do desvio padrão, respetivamente.

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{X}_i = LC_{\bar{X}} \quad (2.32)$$

$$\bar{S} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i = LC_S \quad (2.33)$$

Onde m é o número de amostras e n a dimensão da amostra.

- Calcular os limites de controlo da carta da média

A determinação dos limites de controlo é feita com recurso às expressões 2.35 e 2.36. Como os parâmetros do processo são desconhecidos, temos que considerar os seus estimadores. Seja $\hat{\sigma}$ o estimado do desvio padrão do processo (σ) e \bar{X} o estimador da média do processo (μ).

$$\sigma = \hat{\sigma} = \frac{\bar{S}}{c_4} \quad (2.34)$$

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{X} + 3\hat{\sigma}_{\bar{X}} = \bar{X} + \frac{3\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} = \bar{X} + \frac{3\bar{S}}{c_4\sqrt{n}} = \bar{X} + A_3\bar{S} \quad (2.35)$$

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{X} - 3\hat{\sigma}_{\bar{X}} = \bar{X} - \frac{3\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} = \bar{X} - \frac{3\bar{S}}{c_4\sqrt{n}} = \bar{X} - A_3\bar{S} \quad (2.36)$$

- Cálculo dos limites da carta da amplitude

O desvio padrão da distribuição S (σ_S) é dado por:

$$\sigma_S = \sigma\sqrt{1 - c_4^2} = \frac{\bar{S}}{c_4}\sqrt{1 - c_4^2} \quad (2.37)$$

Como os valores da média e desvio padrão do processo são desconhecidos, recorre-se ao estimador do desvio padrão da distribuição (σ_S) para calcular os limites da carta da do desvio padrão.

$$LSC_S = \bar{S} + 3\sigma_S = \bar{S} + 3\frac{\bar{S}}{c_4}\sqrt{1 - c_4^2} = \bar{S}(1 + \frac{3}{c_4}\sqrt{1 - c_4^2}) = B_4\bar{S} \quad (2.38)$$

$$LIC_S = \bar{S} - 3\sigma_S = \bar{S} - 3\frac{\bar{S}}{c_4}\sqrt{1 - c_4^2} = \bar{S}(1 - \frac{3}{c_4}\sqrt{1 - c_4^2}) = B_3\bar{S} \quad (2.39)$$

Os valores de c_4 , A_3 , B_4 , B_3 são retirados do anexo VIII.

- Traçar as retas correspondentes aos limites de controlo e à linha central e introduzir os dados por ordem cronológica.

Cartas de controlo da média e do desvio padrão para dados não independentes

Antes de se proceder à construção das cartas \bar{X} e S é necessário determinar o coeficiente de correlação médio ρ e avaliar se a auto-correlação entre amostras é significativa. Posto isto,

caso exista efetivamente auto-correlação entre amostras, para construção da carta \bar{X} consideram-se as seguintes expressões:

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{X} - \frac{3\bar{S}}{c_4} \sqrt{\frac{1 + (n-1)\rho}{n(1-\rho)}} \quad (2.40)$$

$$LC_{\bar{X}} = \bar{X} \quad (2.41)$$

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{X} + \frac{3\bar{S}}{c_4} \sqrt{\frac{1 + (n-1)\rho}{n(1-\rho)}} \quad (2.42)$$

O valor esperado e o desvio padrão da estatística S são calculados, respetivamente, pelas expressões 2.43 e 2.44.

$$\mu_S = E(S) = \gamma_4 \sigma \sqrt{1-\rho} \quad (2.43)$$

$$\sigma_S = \sigma \sqrt{(1-\gamma_4^2)(1-\rho)} \quad (2.44)$$

Onde:

$$\gamma_4 = 1 - \frac{\eta^2}{8\sigma^4(1-\rho)^2} \quad (2.45)$$

$$\eta^2 = Var(S^2) = \frac{1}{(n-1)^2} \left(2tr(V^2) - \frac{4}{n}(\Omega) + \frac{2}{n^2}v^2 \right) \quad (2.46)$$

Em que:

v = soma dos elementos da matriz V

Ω = soma dos elementos da matriz $V^2 = VV$

$tr(\cdot)$ é o traço da matriz (soma dos elementos da diagonal da matriz)

Assim, os limites modificados da carta S são obtidos através de $E(S) \pm 3\sigma_S$.

$$LIC_S = \max \left(0; \bar{S} \left(1 - 3 \frac{\sqrt{(1-\gamma_4^2)}}{\gamma_4} \right) \right) \quad (2.47)$$

$$LC_S = \bar{S} \quad (2.48)$$

$$LSC_S = \bar{S} \left(1 + 3 \frac{\sqrt{(1-\gamma_4^2)}}{\gamma_4} \right) \quad (2.49)$$

Na fase 1 deve-se analisar em primeiro lugar a carta das amplitudes, uma vez que os limites de controlo da carta da média são determinados com base nas amplitudes. Quando se detetar um ponto fora dos limites de controlo ou alguma das regras para deteção de causas especiais devem ser aplicadas ações corretivas. Posto isto, deve ser repetido todo o processo descrito anteriormente até que se conclua que o processo esta sob controlo estatístico.

Regras para deteção de causas especiais

Aquando da construção das cartas conclui-se que o processo está fora de controlo estatístico quando se observa a existência de um ou mais pontos fora dos limites de controlo. Quando se observam comportamentos não aleatórios podem existir causas especiais de variação que devem ser averiguadas.

As regras para deteção de causas especiais são as seguintes (Requeijo, 2012):

Regra nº 1 - um qualquer ponto fora dos limites de ação.

Regra nº 2 – nove pontos consecutivos na zona C ou para além da zona C do mesmo lado da linha central.

Regra nº 3 – seis pontos consecutivos no sentido ascendente ou descendente.

Regra nº 4 – catorze pontos consecutivos crescendo e decrescendo alternadamente.

Regra nº 5 – dois de três pontos consecutivos na zona A, ou além desta zona, do mesmo lado da linha central.

Regra nº 6 – quatro de cinco pontos consecutivos na zona B ou A, ou além destas zonas, do mesmo lado da linha central.

Regra nº 7 – quinze pontos consecutivos na zona C acima e abaixo da linha central.

Regra nº 8 – oito pontos consecutivos de ambos os lados da linha central, sem nenhum na zona C.

Capacidade do processo

Aplicaram-se os índices de capacidade do processo para avaliar se o processo é capaz de cumprir com a especificação do cliente. Os índices de capacidade do processo diferem caso a distribuição estudada seja ou não Normal.

- **Índices de capacidade do processo para dados Normalmente distribuídos**

O índice de capacidade potencial (C_p) é dado pela expressão 2.50. Como se trata de uma especificação bilateral o processo será capaz caso se verifique que o $C_p > 1,33$.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (2.50)$$

Requeijo afirma que “um bom desempenho do processo implica que a variabilidade seja bastante reduzida, ou seja, que a capacidade do processo seja a mais alta possível”. Um processo pode apresentar um valor de $C_p = 1,33$, mas ainda assim estar a produzir uma percentagem de unidades não conformes. Neste caso diz-se que esse processo não apresenta a média centrada no valor nominal.

O índice de capacidade (C_{pk}) considera a dispersão e a localização da média e é definido como:

$$C_{pk} = \min((C_{pk})_I, (C_{pk})_S) \quad (2.51)$$

Com:

$$(C_{pk})_I = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \quad (2.52)$$

$$(C_{pk})_S = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \quad (2.53)$$

O processo está centrado no seu valor nominal se $(C_{pk})_I = (C_{pk})_S$ e será capaz quando se verificar que o $C_{pk} > 1,33$.

- **Índices de capacidade do processo para dados não Normais**

Os dados referentes a uma dada estatística da qualidade podem ser independentes, mas não Normalmente distribuídos. Sendo assim, existem duas hipóteses:

1. Transformar os dados recorrendo à transformação de Box-Cox, de forma a que a variável transformada Z seja Normalmente distribuída com média μ_Z e desvio padrão σ_Z . De seguida analisa-se a variável transformada, e se se concluir que o processo se encontra sob controlo estatístico, faz-se a transformação da especificação técnica e determinam-se os índices de capacidade do processo com recurso às expressões 2.50 e 2.51 (Requeijo, 2012).

2. Uma outra opção sugerida por Requeijo (2012), consiste no recurso a índices mais adequados à distribuição dos dados, nomeadamente, os índices das equações 2.54 a 2.57. Nestas equações, assume-se que a probabilidade de um valor da variável X se encontrar no intervalo $\mu \pm 2,575$ é igual a 99%.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{5,15\sigma} \quad (2.54)$$

$$C_{pk} = \min((C_{pk})_I, (C_{pk})_S) \quad (2.55)$$

Com:

$$(C_{pk})_I = \frac{\mu - LIE}{2,575 \sigma} \quad (2.56)$$

$$(C_{pk})_S = \frac{LSE - \mu}{2,575 \sigma} \quad (2.57)$$

Comparação entre as populações de duas máquinas

Uma vez determinado o valor da média e do desvio padrão para cada máquina, podemos compara-las através da realização de um teste de hipóteses.

- **Comparação de duas médias de distribuições Normais**

Considerando as médias de duas populações Normais independentes com médias μ_1 e μ_2 e variâncias conhecidas σ_1^2 e σ_2^2 . As hipóteses a testar são:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \quad (2.58)$$

$$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

Recolhem-se duas amostras de dimensão n_1 e n_2 e calculam-se as médias amostrais \bar{X}_1 e \bar{X}_2 . A estatística de teste será:

$$Z_0 = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \quad (2.59)$$

Para um teste bilateral, a hipótese nula é rejeitada quando:

$$|Z_0| > Z_{\frac{\alpha}{2}} \quad (2.60)$$

Se as populações forem Normais com médias e variâncias desconhecidas, o teste depende apenas do facto das duas variâncias serem significativamente diferentes ou não. O teste será igualmente definido pelas expressões 2.58.

Considerando que **as variâncias não são significativamente diferentes**, calcula-se a variância combinada, S_p^2 .

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (2.61)$$

A estatística de teste será dada pela equação 2.60.

$$t_0 = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (2.62)$$

Onde n_1 e n_2 designam as dimensões das amostras 1 e 2 respectivamente. E \bar{X}_1 e \bar{X}_2 as médias amostrais.

Para um teste bilateral, rejeita-se a hipótese nula quando:

$$|t_0| > t_{\frac{\alpha}{2}}(n_1 + n_2 - 2) \quad (2.63)$$

Considerando que **as variâncias são significativamente diferentes** a estatística de teste é dada por:

$$t_0 = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad (2.64)$$

Neste caso, rejeita-se a hipótese nula se:

$$|t_0| > t_{\frac{\alpha}{2}}; \nu \quad (2.65)$$

Onde ν (número de graus de liberdade) é dado por:

$$\nu = \frac{(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2})^2}{\frac{(\frac{S_1^2}{n_1})^2}{n_1 - 1} + \frac{(\frac{S_2^2}{n_2})^2}{n_2 - 1}} \quad (2.66)$$

- **Comparação de duas variâncias de distribuições Normais**

Pretende-se testar a hipótese de duas variâncias (σ_1^2 e σ_2^2) de distribuições Normais não serem significativamente diferentes. Recolhem-se duas amostras de dimensões n_1 e n_2 e calculam-se as variâncias amostrais S_1^2 e S_2^2 .

As hipóteses que pretendemos testar são as que se segue:

$$\begin{aligned} H_0: \sigma_1^2 &= \sigma_2^2 \\ H_1: \sigma_1^2 &\neq \sigma_2^2 \end{aligned} \quad (2.67)$$

A estatística de teste será:

$$F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (2.68)$$

Rejeita-se a hipótese nula quando:

$$F_0 > F_{\frac{\alpha}{2}; (n_1 - 1)(n_2 - 1)} \quad \text{ou} \quad (2.69)$$

$$F_0 < F_{1-\frac{\alpha}{2}; (n_1 - 1)(n_2 - 1)}$$

2.2. Tensão superficial

A tensão superficial é responsável pela forma esférica das gotas de água, ou pelo simples facto de um mosquito permanecer à superfície da água sem que afunde (Ferreira, 2013). Atualmente existem inúmeras abordagens possíveis quando se pretende estimar a tensão superficial, nomeadamente a medição de ângulos de contacto, a sedimentação de partículas, a teoria do gradiente, a teoria de Lifshitz de Van der Waals, entre outras (Kwok D. Y., 1998).

A medição do ângulo de contacto formado por uma gota numa superfície sólida permite-nos inferir sobre a sua molhabilidade. Por molhabilidade entende-se a capacidade que um líquido tem para manter contacto com uma superfície sólida. O valor do ângulo de contacto irá depender essencialmente da relação que existe entre as forças adesivas entre o líquido e o sólido e as forças coesivas do líquido (Abdallah, 2007).

Na figura 2.8 podemos observar a 3 bolhas sob uma superfície sólida. A figura da esquerda constitui o caso em que o líquido não molha a superfície, a figura central constitui o caso intermédio, em que o líquido molha parcialmente o sólido, e na da direita o líquido molha completamente o sólido.

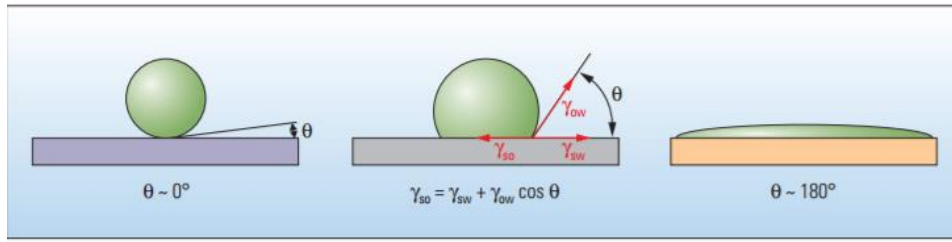


Figura 2.8 - Ângulos de contacto; adaptado de Abdallah, 2007

A determinação de ângulos de contacto tem motivado inúmeros estudos. Um aspecto comum a todos esses estudos é o recurso à equação de Young (equação 2.70), que descreve a condição de equilíbrio de uma gota que se encontra sob a ação de três tensões interfaciais γ_{lv} , γ_{sv} e γ_{sl} que constituem, respetivamente, as tensões interfaciais líquido-vapor, sólido-vapor e sólido-líquido (Tavana, 2005).

$$\gamma_{lv} \cos \theta = \gamma_{sv} - \gamma_{sl} \quad (2.70)$$

Onde θ representa o ângulo de contacto de Young.

Para que se possam determinar as tensões superficiais do sólido (γ_{sv} , γ_{sl}) é necessário considerar uma segunda relação. Tavana (2005) afirma que se a determinação dos ângulos de contacto de diferentes líquidos numa mesma superfície for efetuada de forma correta, entenda-se com o menor erro experimental possível, é obtida uma curva de $\gamma_{lv} \cos \theta$ em função de γ_{lv} . Assim, diferentes sólidos irão ter curvas paralelas, onde cada curva representa a tensão superficial do sólido em questão, implicando que:

$$\gamma_{lv} \cos \theta = f(\gamma_{lv}, \gamma_{sv}) \quad (2.71)$$

A existência da relação anterior foi justificada pela regra termodinâmica das fases aplicada em sistemas capilares (Tavana, 2005). Considerando a equação 2.70, também se poderá afirmar que:

$$\gamma_{sl} = F(\gamma_{lv}, \gamma_{sv}) \quad (2.72)$$

A relação anterior pode ser expressa de outra forma (equação 2.73), não sendo os passos intermédios considerandos nesta dissertação. A equação que se segue é conhecida como a equação de estado para as tensões interfaciais (Tavana, 2005).

$$\gamma_{sl} = \gamma_{lv} + \gamma_{sv} - 2\sqrt{\gamma_{lv}\gamma_{sv}}e^{-\beta(\gamma_{lv}-\gamma_{sv})^2} \quad (2.73)$$

Onde β é uma constante que foi determinada empiricamente e apresenta um valor médio de $0,0001247 \text{ (mJ/m}^2\text{)}^{-2}$.

Se se combinar a equação 2.73 com a equação de Young, obtém-se a seguinte expressão:

$$\cos \theta = -1 + 2\sqrt{\gamma_{sv}/\gamma_{lv}}e^{-\beta(\gamma_{lv}-\gamma_{sv})^2} \quad (2.74)$$

Capítulo 3 – Caracterização da empresa

3.1. A empresa

A Logoplaste produz embalagens de plástico rígido para várias empresas de renome, dos sectores de bebidas e alimentação, higiene pessoal, da casa, óleos e lubrificantes. O grupo foi constituído em 1976 e é pioneiro no desenvolvimento da produção *in-house*, fornecendo embalagens de plástico *“just-in-time”* em unidades introduzidas nas instalações do cliente.

Atualmente conta com 60 fábricas presentes em 4 continentes, colaborando com cerca de 39 parceiros. De entre os seus principais clientes a nível nacional podemos destacar, por exemplo, a Vitor Guedes, a Sovena, a Lactogal, a Unilever e a Unicer (Logoplaste, 2016).

Devido às competências do grupo nas áreas de design e engenharia de embalagem, o objetivo da empresa passa por ser a principal escolha no fornecimento de embalagens rígidas de plástico.

Os pontos de referência para todas as ações, atitudes, abordagens, comportamentos e decisões na Logoplaste são (Logoplaste, 2016):

Cliente – atitude *“Can do”*, respondendo com inovação.

Equipa – crescimento conjunto dos negócios e da equipa.

Qualidade – fazer bem à primeira.

Integridade – aberto, direto e com respeito.

Comunidade – ativo no trabalho social e ambiental.

Cultura – sentindo-se em casa em qualquer lugar do mundo.

Com base no tipo de produto final existem três tipos de processo utilizados a nível nacional:

- Estiramento-sopro
- Injeção
- Extrusão-sopro

O estiramento-sopro é usado para a produção de embalagens para bebidas como refrigerantes ou água. Numa fase inicial são produzidas as pré-formas nas instalações da Logoplaste da Mealhada, sendo depois distribuídas para as fábricas de estiramento-sopro. O processo de extrusão-sopro permite produzir embalagens, por exemplo, para iogurtes ou para detergentes. A título de exemplo temos a produção de embalagens para os iogurtes da Lactogal. O processo de injeção é usado, por exemplo, na produção das cápsulas para os cafés das Nicola, as tampas para os iogurtes da Danone e ainda pegas para garrações. A fábrica de Santa Iria usa o processo de IML (*In Mould Labelling*), que é um caso particular da injeção, para produzir embalagens para manteigas e margarinas, de clientes como a FIMA, a Lactogal e Pronicol.

3.2. A Logoplaste Santa Iria

A Logoplaste de Santa Iria da Azóia iniciou a sua produção em 1993 nas instalações Unilever – Jerónimo Martins. À data de início de atividade utilizava-se a impressão, mas esta técnica não permitia obter imagens com uma perfeita nitidez de contornos e cores. Assim, em 2000, surgiu a necessidade de inovar. Investiram-se em novas máquinas, e começaram-se a produzir embalagens tal como as que conhecemos atualmente, ou seja, recorrendo ao processo de IML.

3.3. Matérias-primas utilizadas na fábrica

A maioria das embalagens produzidas na Logoplaste de Santa Iria são constituídas pelas três matérias-primas: o polipropileno (PP), o *Masterbatch* (MB) e a etiqueta. Os fundos produzidos para a Knorr são produzidos sem etiqueta e podem ser transparentes ou brancos.

Polipropileno

O polipropileno é um termoplástico pelo que pode ser repetidamente aquecido ou fundido sem que as suas propriedades de modifiquem. O seu monómero provém da refinação do petróleo e através da realização de uma polimerização obtemos o polipropileno. Na fábrica são utilizados três tipos de PP que dependem do produto pretendido.

Uma vez que o polipropileno utilizado na fábrica não apresenta uma gama estreita do índice e fluidez, pode ocorrer a produção de embalagens com excesso ou falta de material quando se inicia a produção com outro lote de matéria-prima.

Masterbatch

A base do *masterbatch* é um homopolímero de polipropileno à qual são adicionados diferentes pigmentos consoante a tonalidade pretendida. Os MB utilizados na fábrica apresentam um componente anti-estático, de forma a diminuir a acumulação de partículas na superfície das embalagens.

Os fundos são todos produzidos adicionando um *masterbatch* branco, e que os tampos apresentam diferentes tonalidades consoante o produto final. Quando é necessário proceder à troca de tonalidade, recorre-se a um produto de limpeza dos fusos que ao expandir arrasta consigo todos os vestígios do corante anterior e eventuais impurezas.

Etiqueta

As etiquetas são constituídas por várias camadas em polipropileno. Às camadas superficiais adiciona-se um verniz para proteger a etiqueta. Existem diferentes formatos consoante o produto final.

3.4. O processo de In Moul Labelling

O processo de *In Mould Labelling* (designado, abreviadamente por IML) é utilizado para produção de tampos e fundos para serem utilizados pela indústria alimentar. Como o próprio nome indica, o processo consiste numa etiquetagem dentro do molde. Neste processo são utilizadas as três matérias-primas descritas anteriormente.

As máquinas disponíveis para a produção dos fundos e tampos são constituídas essencialmente por duas partes: o **robot** e a **máquina de injeção**. As etiquetas são colocadas nos *magazines* (dispensadores de etiquetas) depois de devidamente separadas pelo operador da máquina. São retiradas pelas ventosas do *pick-up label* e transferidas para os *dummy cores* que se encontram no braço do *robot*. Estes são constituídos por peças em cobre que permitem conduzir os eletrões para o centro, topos e laterais das etiquetas aquando da descarga elétrica dentro do molde.

Quando o *robot* recebe indicação dada por sensores que o molde está aberto, o braço entra e coloca as etiquetas no molde aplicando-lhe uma descarga de estática com a intensidade e durante o tempo estabelecido. A descarga irá permitir que a etiqueta se fixe de modo a poder ser feita a injeção. O *dummy core* sai do molde, o molde fecha e dá-se a injeção da mistura para as cavidades moldantes.

O PP que provem dos silos é encaminhado para as tremonhas por ação de um sistema de vácuo. As tremonhas são reservatórios que vão alimentando gradualmente o PP ao carro de injeção por ação da gravidade.

As diferentes zonas de aquecimento permitem tornar a mistura de PP e MB fluida. Recorre-se a um parafuso sem fim para se proceder à homogeneização da mistura. O fuso apresenta um movimento giratório e um movimento tipo embolo. O movimento giratório consiste na dosagem. O movimento tipo embolo movimenta o plástico rapidamente para a frente e injeta o plástico fundido. No final do percurso o fuso regressa à posição inicial.

No final do cilindro está a cabeça onde se encontra o obturador. Este abre durante a injeção e fecha durante a dosagem. No extremo do cilindro temos os bicos de injeção que são os responsáveis por conduzir o plástico fundido até as cavidades.

A unidade de fecho (ou zona de moldação) é a estrutura que suporta o molde e abre e fecha o molde em cada ciclo. Esta pode ser dividida em prato móvel e prato fixo.

A zona de injeção é constituída por um cilindro e um parafuso sem fim. Numa primeira etapa é alimentada a mistura de PP e MB. O plástico avança dentro do cilindro devido ao auxílio de um parafuso sem fim. Quando chega ao fim do seu percurso, a mistura é injetada no molde.

Findo o enchimento, inicia-se o processo de arrefecimento da peça. A embalagem é expelida pneumáticamente e é removida do molde pelo braço do *robot*. Quando este coloca a etiqueta de um dos lados do molde, retira a embalagem completa do lado contrário.

É de extrema importância para o funcionamento da máquina e para o estado de conservação dos moldes o ótimo funcionamento de todos os periféricos inerentes ao processo:

- Circuito de arrefecimento dos óleos da máquina de injeção
- Circuito de arrefecimento dos moldes
- Secador de ar comprimido
- Compressor de ar

3.5. Parâmetros do processo

O controlo de um processo assenta na avaliação de inúmeras variáveis com diferentes impactos no produto final. Nesta secção definem-se todos os parâmetros do processo que estão relacionados com a correta colocação da etiqueta na embalagem. Para o robot, recolheram-se informações sobre os parâmetros abaixo:

Número de picagens - consiste no número de vezes que o *pick-up label* “sobe e desce” quando recolhe e faz a separação das etiquetas do *magazine*.

Tempo de picagem - é o tempo que o *pick-up label* demora a fazer o movimento de separação de etiquetas.

Tempo antes de largar a etiqueta - é o tempo que a etiqueta aguarda dentro do molde antes de ser aplicada a descarga.

Tempo de carga da etiqueta - consiste no tempo em que a etiqueta está a receber a descarga de estática.

Descarga de estática a um segundo - é o tempo de referência para o ajuste da intensidade da descarga elétrica.

Tempo de atraso do pino - é o tempo desde que a etiqueta foi colocada no *dummy core* até ao avanço dos pinos (cilindros) para segurar a etiqueta lateralmente.

Altura do sensor de etiquetas - limita a subida dos *magazines* quando o *pick-up label* recolhe a etiqueta.

Vacuostato - é um sensor de vácuo, que nos permite definir um valor para a deteção da etiqueta ou embalagem. É ajustado na máquina manualmente deixando uma ventosa aberta. Será o valor de segurança para deteção da etiqueta.

Tempo de sopro na transferência da etiqueta - é o tempo durante o qual se está a soprar a etiqueta para a dobrar.

Para a máquina de injeção, recolheram-se informações sobre os seguintes parâmetros:

Temperaturas na zona do canhão - são definidas por zonas, que vão desde a admissão das matérias-primas na formula de grânulos, até à zona onde se encontram prontas para serem injetadas no molde.

Temperatura no molde - como o próprio nome indica é a temperatura que se faz sentir no molde. Esta é mantida por uma resistência que se encontra entre o canhão e os bicos de injeção.

Os bicos de injeção conduzem o plástico fundido para as cavidades moldantes. Assim, as **temperaturas nos bicos** correspondem à temperatura a que a mistura estava aquando da injeção nessas zonas.

Valor da abertura do molde - é o valor previamente definido para parar o seu movimento de abertura. O molde pode apresentar duas **velocidades de abertura**: a primeira velocidade

está definida até um dado valor de abertura. Atingido esse valor de abertura, o molde passa a realizar o movimento de abertura, mas desta vez a uma velocidade superior. O valor da **comutação da velocidade de abertura** consiste na posição a partir da qual a velocidade se altera.

Dosagem - corresponde ao curso do parafuso do cilindro e vai medir a quantidade de plástico que injetamos. O **tempo de dosagem** corresponde ao tempo durante o qual está a ser alimentada matéria-prima ao cilindro.

Velocidade de rotação do parafuso - corresponde à velocidade à qual o cilindro roda no sentido contrário ao do movimento de injeção de forma a que seja possível introduzir mais matéria-prima no cilindro.

Existem duas **velocidades de injeção**. A velocidade começa por ser superior até que o fuso atinja um valor estipulado de dosagem, posteriormente injeta-se o restante material, mas a uma velocidade inferior. O valor de posição no qual se passa da primeira para a segunda velocidade designa-se **comutação da velocidade de injeção**.

Pressão de injeção - como o próprio nome indica, consiste na pressão à qual o material é injetado nas zonas moldantes.

Atraso a abrir da valve gate - é definido a partir do instante em que o molde realiza o seu movimento de fecho. O valor do **atraso ao fechar** é definido após o final da injeção.

O parâmetro definido como **posição** indica o valor de injeção a partir do qual se inicia a compactação da peça.

Finda a injeção, a peça é sujeita a um dado valor de pressão (**pressão de compactação**) durante um intervalo de tempo (**tempo de compactação**). Realiza-se esta etapa com o intuito de tornar a peça mais robusta, isto é, menos sujeita a possíveis deformações.

Tempo de arrefecimento da peça - é o tempo em que a peça está a ser arrefecida depois de ser compactada.

Atraso do sopro na extração - é o tempo que a peça aguarda após o arrefecimento até que se inicie a sua descolagem.

Um sopro de uma dada intensidade é realizado durante um dado intervalo de tempo (**tempo de sopro na extração**), o que vai permitir que ocorra a descolagem da peça e a passagem desta para a parte contrária do molde.

Força de fecho do molde - consiste na força aplicada por cada parte do molde para que este permaneça fechado durante a injeção.

Tempo de ciclo - é o tempo entre a produção de duas embalagens consecutivas.

Podemos destacar outros parâmetros com igual importância tais como a **pressão dos sopros** e **velocidades dos *dummy cores***. O movimento de entrada e saída dos *dummy cores* é realizado pela regulação da pressão do ar num cilindro pneumático. Assim, se pretendermos, por exemplo, aumentar a velocidade dos *dummy cores*, aumentamos a pressão do ar. Não foram recolhidos valores relativos a estes parâmetros uma vez que as máquinas não estão equipadas com dispositivos que possam medir a pressão. Neste caso, é feito um ajuste manual à tubagem do ar.

Existem ainda parâmetros do meio ambiente que também influenciam o processo, tais como a humidade relativa e a temperatura da sala. Para uma boa colocação das etiquetas, o fornecedor destas indica um intervalo de humidade e temperatura da sala ótimos. Para manter esses valores são usados controladores de humidade e temperatura com sensores presentes em vários pontos da sala. É de salientar que apenas é possível introduzir humidade na sala de produção e não remover a humidade excessiva.

A humidade relativa deve-se localizar entre valores pré-definidos, para evitar que ocorra o *curling* das etiquetas. O *curling* é um fenómeno em que há perda de planicidade das etiquetas devido à baixa humidade na sala de produção. Perante esta situação regista-se uma oscilação das etiquetas nos *magazines*, o que dificulta a transferência destas.

No caso de humidade excessiva na sala, as etiquetas podem ficar agarradas originando situações em que são colocadas duas ou mais etiquetas dentro do molde. Existem situações em que pode ser impossível continuar a produção. Quando se consegue continuar a produzir, é necessário ajustar todo o processo. Ajustam-se parâmetros como o número e o tempo de picagens, para garantir que não é colocada mais do que uma etiqueta dentro do molde, a intensidade/tempo da descarga elétrica, entre outros.

3.6. Descrição das máquinas da fábrica

Na Logoplaste de Santa Iria da Azóia podemos encontrar um total de 12 máquinas:

Máquina 47 - nesta máquina são produzidos os fundos Eurocontainer de 0,9 e 1 L para a Knorr.

Máquina 59 - é responsável pela produção os tampos para o Tulicreme e para o Vaqueiro Sabores.

Máquinas 93 e 94 - em ambas as máquinas podem ser produzidos os fundos retangulares de 250 g da FIMA. Caso seja necessário, a máquina 94 pode ainda produzir fundos *boat shape* de 250 g da FIMA e da Lactogal.

Máquina 144 e 145 - nestas máquinas produzem-se fundos de 500 g retangulares para a FIMA.

Máquina 146 – nesta máquina produzem-se fundos *boat shape* de 500 g para a FIMA.

Máquinas 147 e 148 - estas máquinas são responsáveis pela produção dos tampos para as embalagens da FIMA. A máquina 147 produz os tampos de 500 g e a 148 os de 250 g.

Máquina 149 – esta máquina é multiproduto. Produzem-se fundos de Vaqueiro Sabores, de Tulicreme e ainda fundos de 250 g para a Lactogal e Pronicol.

Máquina 150 - nesta máquina também podem ser produzidos fundos de 125 g e 250 g para a Lactogal e Pronicol.

Máquina 151 - cabe à máquina 151 a produção dos tampos para as manteigas das Lactogal e Pronicol.

3.7. Classificação dos defeitos

No documento desenvolvido pelos engenheiros da fábrica de Santa Iria da Azóia, o defeito é definido como “um afastamento de uma característica da qualidade em relação aos valores pré-definidos”. Os defeitos podem-se enquadrar em 3 categorias como: defeitos críticos, defeitos maiores e defeitos menores. Um **defeito crítico** é aquele que impede a utilização do produto, que prejudica a sua função essencial e/ou constitui um perigo para a saúde do consumidor. A título de exemplo temos a falta de aderência ou fixação das tintas das etiquetas, podendo assim, passar para o interior das embalagens e contactar com os alimentos.

Os **defeitos maiores** são os que diminuem a eficácia do produto, acabando provavelmente por provocar uma falha ou reduzir substancialmente a sua utilização e vida útil. São exemplo de defeitos maiores as embalagens incompletas e as embalagens deformadas.

Os **defeitos menores** constituem imperfeições no acabamento da peça, nomeadamente a existência de rebarbas, ou afastamentos da normalidade, mas que não afetam a funcionalidade do produto final.

Parte II

Capítulo 4 – Seleção das máquinas

Neste capítulo irá ser justificada a escolha das máquinas alvo de estudo, tanto para a primeira parte, onde se constroem as cartas de controlo, como para a segunda parte, onde se tem que estabelecer um ponto de partida para a análise do refugo.

4.1. Construção das cartas de controlo

Para a construção das cartas de controlo optou-se por seleccionar máquinas que produzissem o mesmo formato, uma vez que as cartas de controlo do peso, ou de qualquer outra característica dimensional, seriam as mesmas. Assim, como nesta situação apenas existem duas máquinas, as máquinas 144 e 145, estas seriam as primeiras a ser estudadas.

Se o processo se encontrar sob controlo estatístico, irão ser aplicadas as cartas aos restantes formatos.

4.2. Análise do refugo

No ano de 2015 foram produzidas aproximadamente 128 milhões de embalagens. Cerca de 0,6% foram consideradas não conformes.

De forma a averiguar quais seriam as máquinas alvo de estudo foi necessário analisar o histórico da fábrica. Consideram-se dados do refugo e do número de horas de trabalho das máquinas dos últimos 6 meses (de março a agosto de 2016). Estabeleceu-se ainda uma relação de complexidade das máquinas. Tendo sido atribuída o maior valor da escala, o 3, para as máquinas em que a etiqueta cobre totalmente a embalagem, o 2 para as máquinas onde apenas há cobertura parcial e 1 para as máquinas de tampos. Com base nestes dados construiu-se o gráfico apresentado na figura 4.1.

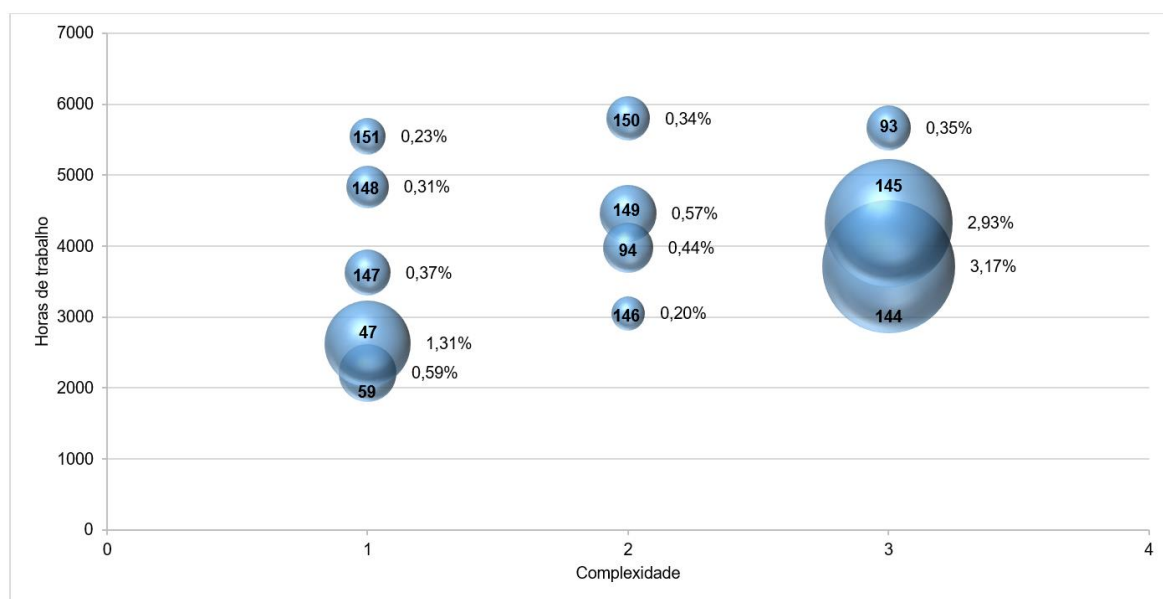


Figura 4.1 – Seleção do caso de estudo

Como se pode observar, as máquinas que apresentam maior refugo são as máquinas 144, 145 e 47. É de salientar que o refugo da máquina 47 está relacionado com problemas inerentes ao próprio molde. Como é possível ver no gráfico as máquinas 144 e 145 apresentam o nível máximo de complexidade e um número de horas de trabalho considerável.

Uma vez que o presente estudo está relacionado com a colocação da etiqueta, e na máquina 47 são produzidas embalagens sem etiqueta, o nosso foco foram apenas as máquinas 144 e 145.

Capítulo 5 – Aplicação das Cartas de Controle

Neste capítulo pretende-se construir as cartas de controlo dos pesos das embalagens para as duas máquinas individuais e as cartas com a combinação das amostras das duas máquinas, uma vez que produzem o mesmo produto. As cartas individuais são contruídas com o intuito de se estimar os parâmetros de cada máquina e posteriormente proceder à comparação entre os parâmetros obtidos, de forma a se poder chegar a uma conclusão se existem ou não diferenças significativas entre as máquinas. Na figura 5.1 encontra-se disponível o fluxograma da construção das cartas.

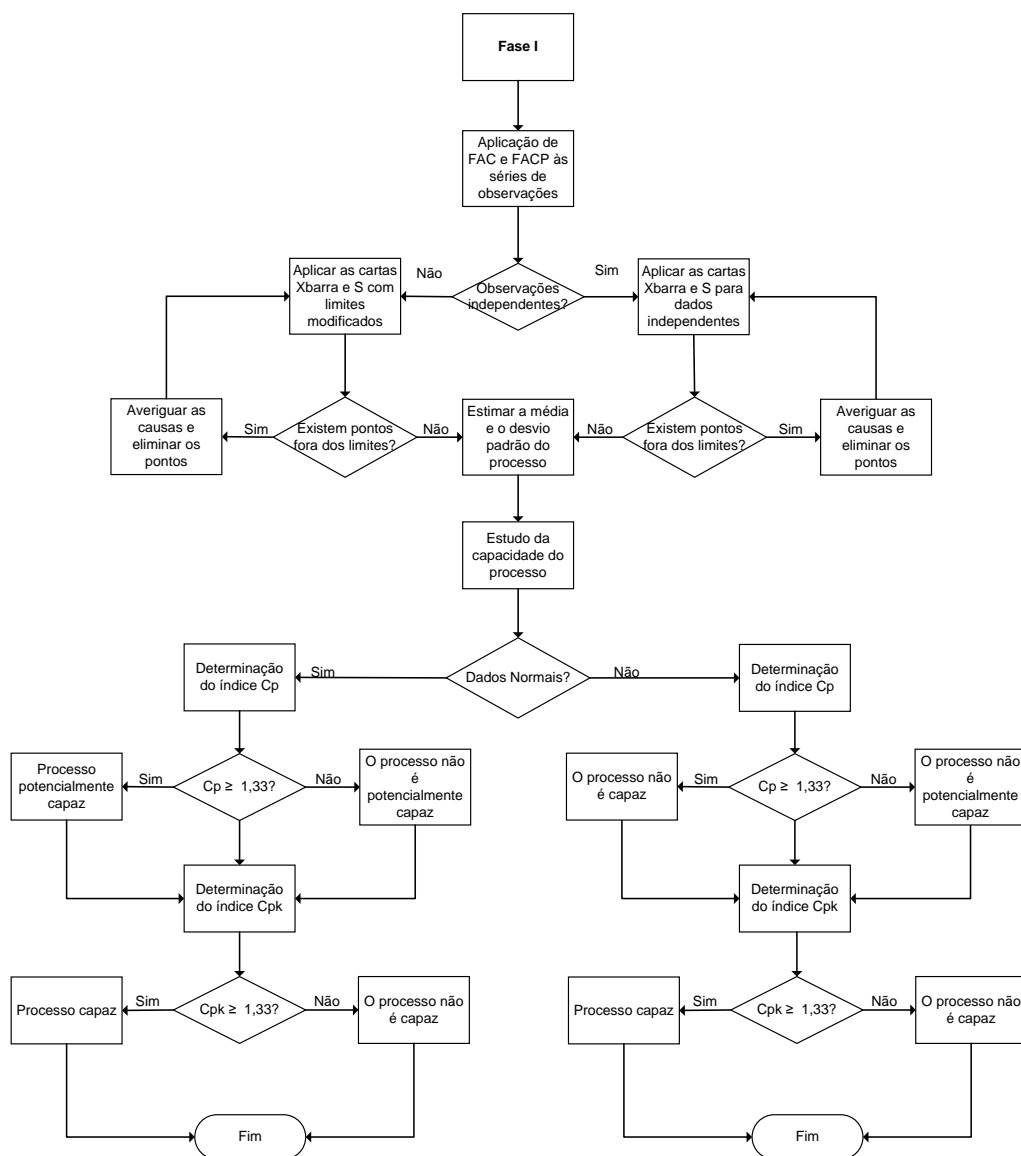


Figura 5.1 – Fluxograma da construção das cartas

Para a construção das cartas recorreu-se ao seguinte software disponível na empresa:

- *Minitab*

Foram recolhidas 30 amostras com uma dimensão de 6, o que perfaz um total de 180 amostras de cada máquina para o caso das máquinas individuais. Para a carta com a combinação das amostras das duas máquinas, recolheram-se 30 amostras de dimensão 12, totalizando 360 amostras.

5.1.Máquina 144

Para uma correta aplicação das cartas de controlo, e para que não se tirem conclusões erradas, é necessário verificar cada um dos pressupostos da sua aplicação.

Verificação das condições de aplicabilidade das cartas de controlo

Como mencionado no capítulo 2, os pressupostos a verificar são a aleatoriedade, a independência e a Normalidade dos dados.

- **Aleatoriedade**

Para averiguar se as amostras que constituímos são aleatórias aplica-se o Teste das Sequências descrito no capítulo 2. Para a sua aplicação é necessário representar os dados obtidos num gráfico de observações individuais. Os passos realizados até que fosse possível obter o gráfico da figura 5.2 encontram-se disponíveis no anexo VIII.

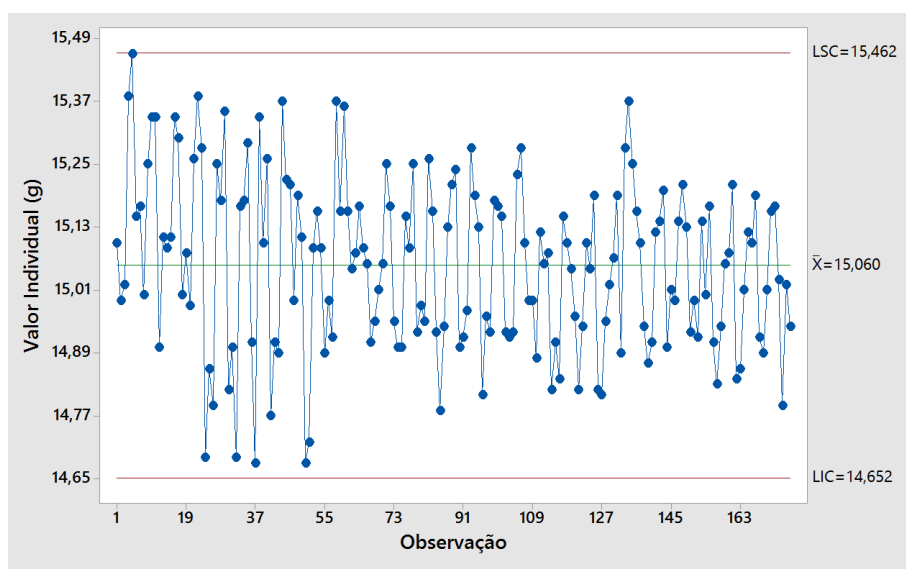


Figura 5.2 - Gráfico das observações individuais (peso das embalagens)

Da figura anterior concluímos que:

$$N_A = 34$$

$$N_B = 34$$

Como a nossa dimensão total das amostras é superior a 25, podemos aproximar a distribuição da variável R à Normal. Assim, a média e a variância são respetivamente:

$$\mu_R = 35$$

$$\sigma_R = 16,746$$

O valor da estatística de teste é será:

$$Z_R = 8$$

Como $Z_{5\%} = 1,96$, tem-se que $Z_R > Z_{5\%}$.

Sendo assim, rejeita-se a Hipótese Nula para um nível de significância de 5%, concluindo que a amostra não é aleatória.

A explicação para a não aleatoriedade reside no facto de as amostras serem provenientes de duas cavidades diferentes. A média de pesos das duas cavidades é apresentada na tabela 5.1. Como se pode observar, as duas cavidades não são idênticas.

Tabela 5.1 - Média dos pesos das duas cavidades da máquina 144

Número da cavidade	Peso (g)
1	15,09
2	15,02

- **Independência dos dados**

O *Minitab* permite aplicar as duas funções descritas no capítulo 2 para verificação do pressuposto da independência dos dados. Da aplicação desta funcionalidade do *Minitab* resultaram os gráficos da figura 5.3 e 5.4.

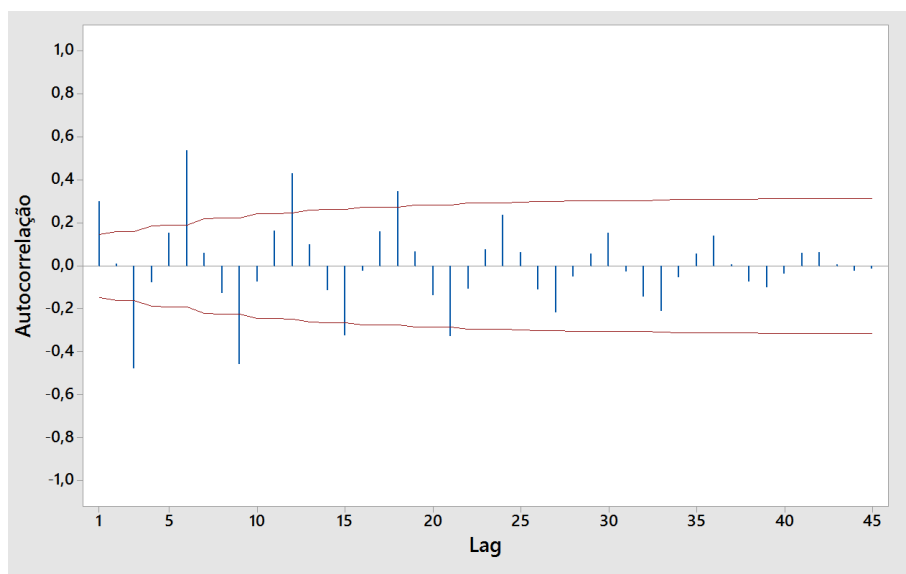


Figura 5.3 - Função de auto-correlação

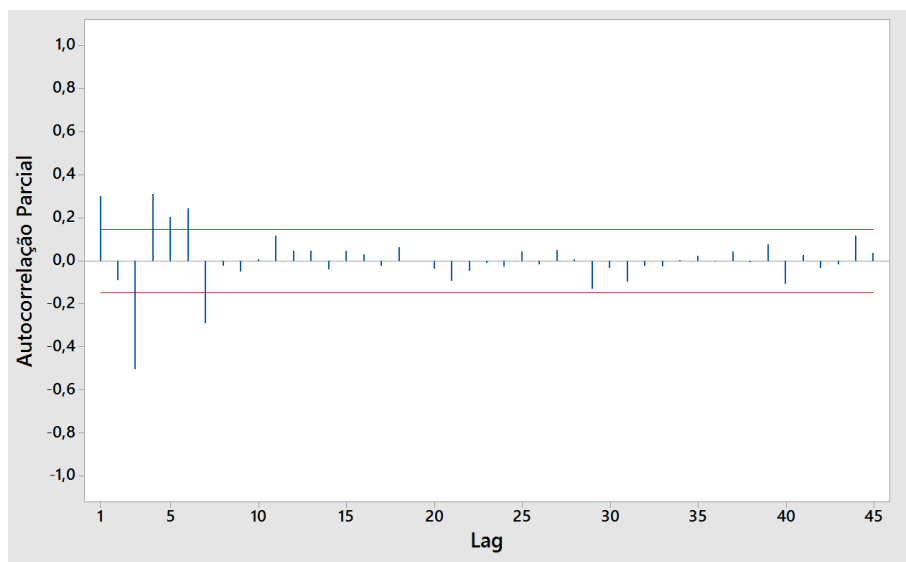


Figura 5.4 - Função de auto-correlação parcial

Por observação das figuras anteriores vemos que os dados são auto-correlacionados, uma vez que todas as barras do gráfico não estão contidas no intervalo de confiança (linhas a vermelho).

Dado que se verificou esta situação é necessário proceder ao cálculo do coeficiente de correlação médio, recorrendo para tal à matriz de correlação. Esta matriz é construída com recurso a uma função da análise de dados do *Excel* designada de correlação. A matriz obtida foi a que se segue:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0,758 & 0,749 & -0,497 & -0,419 & -0,471 \\ 0,758 & 1 & 0,666 & -0,560 & -0,406 & -0,592 \\ 0,749 & 0,666 & 1 & -0,599 & -0,428 & -0,483 \\ -0,497 & -0,560 & -0,599 & 1 & 0,771 & 0,810 \\ -0,419 & -0,406 & -0,428 & 0,771 & 1 & 0,889 \\ -0,471 & -0,592 & -0,483 & 0,810 & 0,889 & 1 \end{bmatrix}$$

Recorrendo à expressão 2.19 chegamos ao seguinte resultado do coeficiente de correlação médio estimado:

$$\hat{\rho} = 0,0127$$

Uma vez que os dados são auto-correlacionados temos que verificar se essa correlação é significativa. Com base no teste de hipótese descrito no capítulo 2 (expressões 2.20 a 2.23), para um nível de significância de 5%, obtiveram-se os seguintes resultados:

$$\chi_c^2 = 284,28$$

$$\chi_{0,05;15}^2 = 25$$

Uma vez que $\chi_c^2 > \chi_{0,05;15}^2$, então rejeita-se H_0 para um nível de significância de 5%. Concluindo-se assim, que existe efetivamente auto-correlação entre os dados.

- **Normalidade**

Para a verificação do pressuposto da Normalidade, recorre-se ao Teste de Kolmogorov-Smirnov. Para aplicar este teste recorreu-se ao *Minitab*.

Com base na tabela que se encontra no anexo VII, a expressão a considerar para o cálculo do $D_{crítico}$ será:

$$D_{crítico} = \frac{0,886}{\sqrt{n}}$$

Sendo assim, o seu valor é:

$$D_{crítico} = 0,0660$$

Da figura retiramos que:

$$D = 0,0592$$

Logo como $D < D_{crítico}$, concluímos que os dados são Normalmente distribuídos.

- **Construção das cartas de controle**

Uma vez que se tinha concluído que os dados eram auto-correlacionados, os limites da carta \bar{X} são contruídos tendo em conta o coeficiente de correlação. Na tabela 5.2 encontram-se disponíveis todos os valores considerados na construção da carta \bar{X} . O valor de c_4 foi retirado da tabela VII.1 (anexo VII).

Tabela 5.2 - Dados utilizados na construção da carta \bar{X}

Parâmetro	Valor
$\hat{\rho}$	0,0127
c_4	0,9515
$\bar{\bar{X}}(g)$	15,056
\bar{S}	0,166

Substituindo os valores da tabela acima nas expressões 2.40 e 2.42, obtiveram-se os seguintes valores para os limites superior e inferior de controlo:

$$LIC_{\bar{X}} = 14,843$$

$$LSC_{\bar{X}} = 15,270$$

Do *Minitab* obtivemos a figura 5.5.

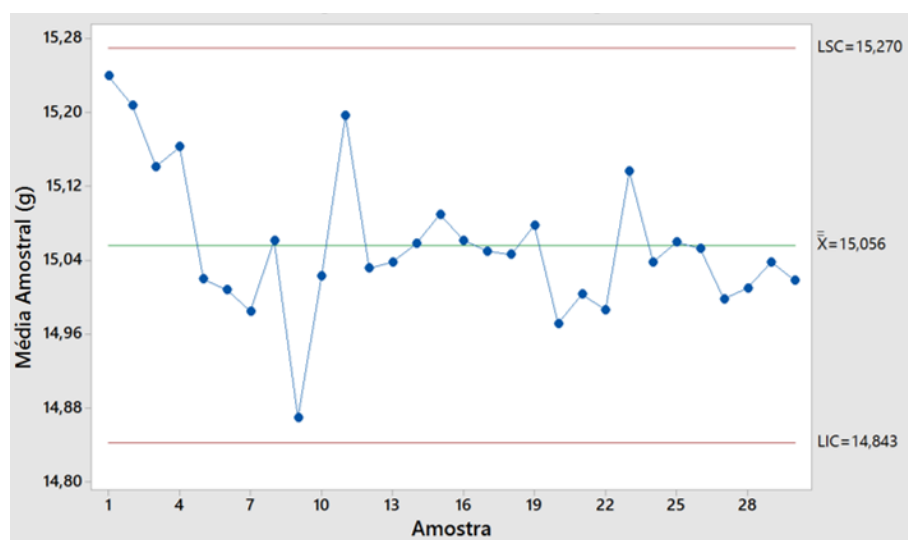


Figura 5.5 - Carta \bar{X} (peso das embalagens)

Para a construção da carta S recorreu-se a uma função da análise de dados que existe no *Excel*, nomeadamente a função covariância. Esta função devolveu a matriz covariância que se segue:

$$V = \begin{bmatrix} 3,20E-02 & 1,46E-02 & 2,03E-02 & -1,64E-02 & -1,45E-02 & -1,70E-02 \\ 1,46E-02 & 1,15E-02 & 1,09E-02 & -1,11E-02 & -8,39E-03 & -1,28E-02 \\ 2,03E-02 & 1,09E-02 & 2,30E-02 & -1,68E-02 & -1,25E-02 & -1,48E-02 \\ -1,64E-02 & -1,11E-02 & -1,68E-02 & 3,41E-02 & 2,74E-02 & 3,02E-02 \\ -1,45E-02 & -8,39E-03 & -1,25E-02 & 2,74E-02 & 3,71E-02 & 3,45E-02 \\ -1,70E-02 & -1,28E-02 & -1,48E-02 & 3,02E-02 & 3,45E-02 & 4,06E-02 \end{bmatrix}$$

Calculou-se o quadrado da matriz covariância, tendo-se obtido:

$$V^2 = VV$$

$$= \begin{bmatrix} 2,42E-03 & 1,37E-03 & 1,98E-03 & -2,50E-03 & -2,41E-03 & -2,71E-03 \\ 1,37E-03 & 8,20E-04 & 1,15E-03 & -1,54E-03 & -1,50E-03 & -1,70E-03 \\ 1,98E-03 & 1,15E-03 & 1,72E-03 & -2,20E-03 & -2,11E-03 & -2,36E-03 \\ -2,50E-03 & -1,54E-03 & -2,20E-03 & 3,50E-03 & 3,53E-03 & 3,87E-03 \\ -2,41E-03 & -1,50E-03 & -2,11E-03 & 3,53E-03 & 3,76E-03 & 4,05E-03 \\ -2,71E-03 & -1,70E-03 & -2,36E-03 & 3,87E-03 & 4,05E-03 & 4,42E-03 \end{bmatrix}$$

Os resultados obtidos foram:

$$tr(V^2) = 0.0166$$

$$\Omega = 0,0105$$

$$v = 0,206$$

Com base nos dados da tabela 5.3 e recorrendo às expressões 2.43 a 2.49 podemos determinar η^2 , σ e γ_4 , e consequentemente os limites de carta S . Os resultados obtidos foram os seguintes:

$$\eta^2 = 1,145 E - 03$$

$$\hat{\sigma} = 0,176$$

$$\gamma_4 = 0,846$$

Os valores dos limites de controlo obtidos foram:

$$LIC_S = 0$$

$$LSC_S = 0,480$$

A carta S foi construída com recurso ao *Excel*, uma vez que os limites de controlo são modificados, ou seja, dependem das constantes anteriormente determinadas (figura 5.6).

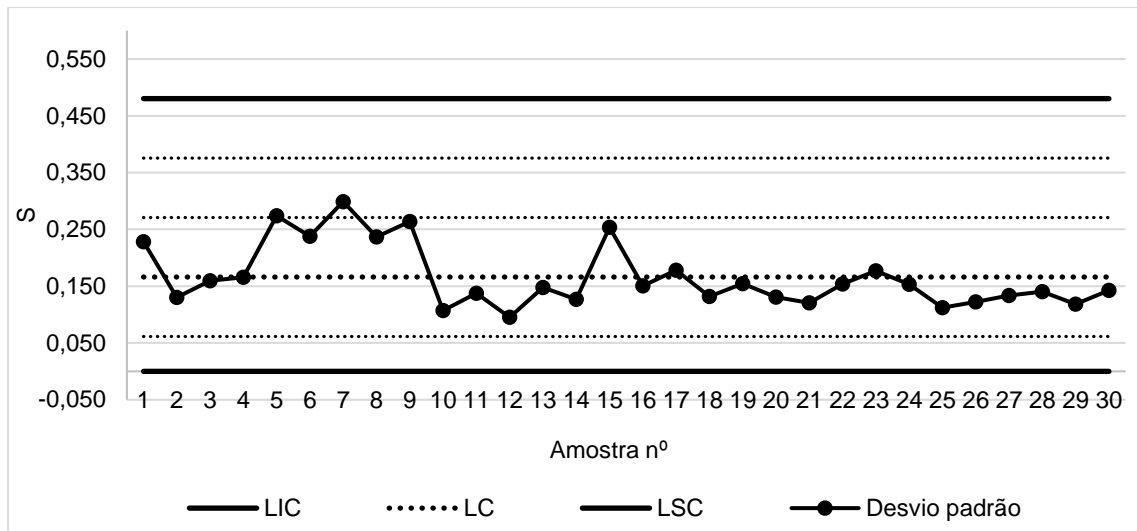


Figura 5.6 - Carta S (peso das embalagens)

Uma vez que as cartas já estão construídas, passamos agora à verificação das regras para deteção de causas especiais de variação. Na carta \bar{X} (figura 5.7) podemos verificar que existem duas regras para deteção de causas especiais de variação, nomeadamente as regras 5 (dois de três pontos consecutivos na zona A, ou além desta zona, do mesmo lado da linha central) e 6 (quatro de cinco pontos consecutivos na zona B ou A, ou além destas zonas, do mesmo lado da linha central). Recorrendo ao histórico dos parâmetros da máquina em questão, podemos afirmar que as amostras 1 até 4 apresentavam pesos superiores devido ao facto da dosagem da máquina apresentar em média um valor superior de dosagem quando comparadas com as restantes amostras.

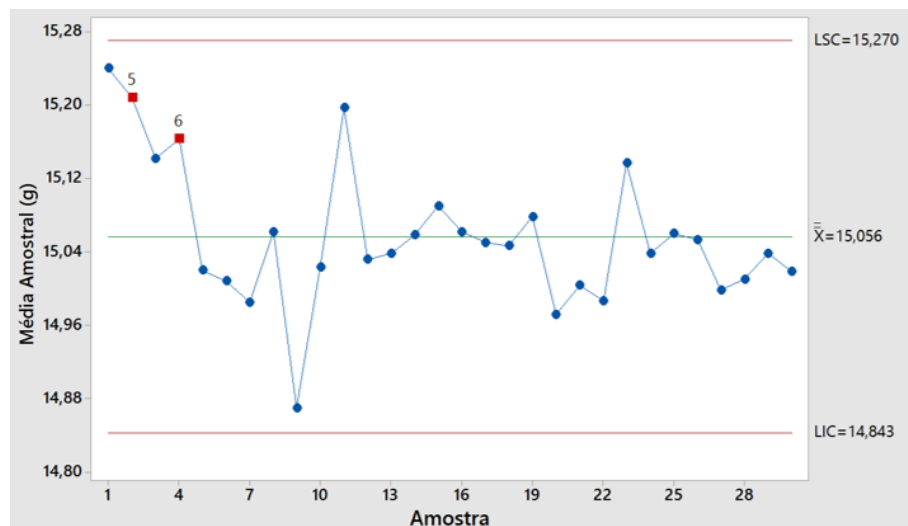


Figura 5.7 - Verificação das regras para deteção de causas especiais de variação (carta \bar{X})

Na carta S (figura 5.8) podemos verificar a existência da regra número 4 (catorze pontos consecutivos descendo e decrescente alternadamente) e da regra número 7 (quinze pontos consecutivos na zona C acima e abaixo da linha central).

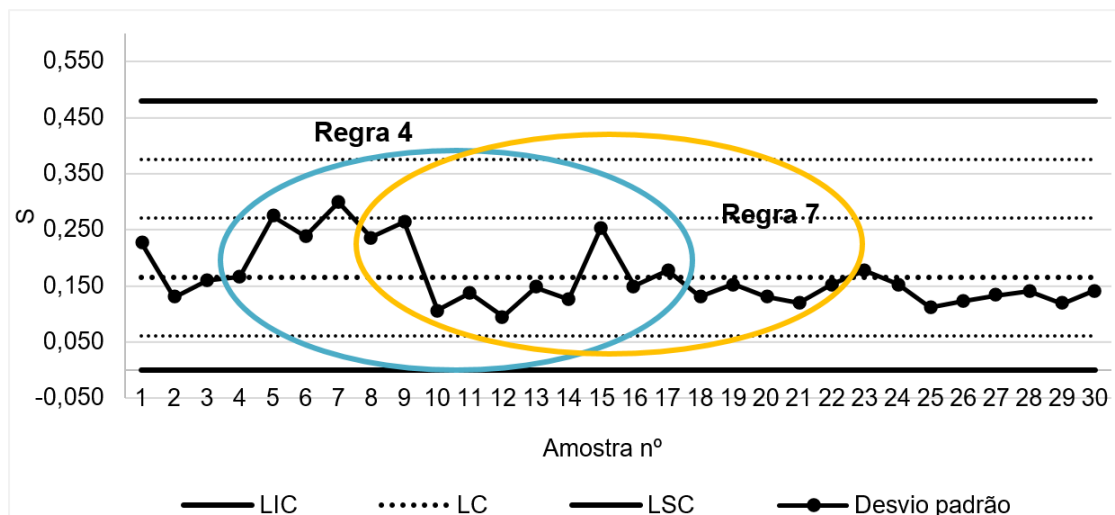


Figura 5.8 - Verificação das regras para detecção de causas especiais de variação (carta S)

Como já era esperado, o conjunto dos pontos não possui um comportamento aleatório. Assim, pode-se concluir que o processo não se encontra sob controlo estatístico.

Como os parâmetros do processo já foram estimados, pode-se inferir sobre a capacidade que esta máquina possui para produzir de acordo com a especificação do cliente. Por aplicação das expressões para dados Normalmente distribuídos (equações 2.50 a 2.53), chegam-se aos seguintes valores para os índices de capacidade do processo:

$$c_p = 0,95$$

$$c_{pk} = 1,06$$

Chega-se à conclusão que o processo não é capaz para a especificação técnica $15 \pm 0,5$ g. Ainda assim, todas as embalagens recolhidas estavam dentro da especificação do cliente.

5.2. Máquina 145

De forma a garantir a veracidade das conclusões é necessário verificar as condições de aplicabilidade das cartas de controlo.

Verificação das condições de aplicabilidade das cartas de controlo

- **Aleatoriedade**

De forma a avaliar a aleatoriedade considerou-se o Teste das Sequências. Construiu-se o gráfico das observações individuais (figura 5.9) recorrendo ao *Minitab*. Os gráficos dos passos intermédios até se obter o gráfico da figura 5.10 encontram-se disponíveis no anexo VIII.

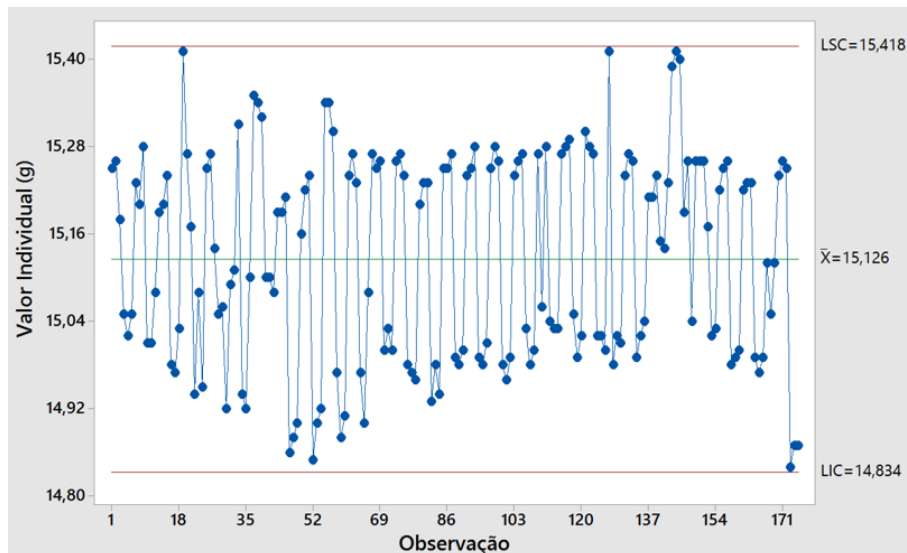


Figura 5.9 - Gráfico das observações individuais (peso das embalagens)

Da figura acima concluímos que:

$$N_A = 29$$

$$N_B = 30$$

Como a nossa dimensão total das amostras é superior a 25, podemos aproximar a distribuição da variável R à Normal. Assim, a média e a variância são respectivamente:

$$\mu_R = 10,94$$

$$\sigma_R = 0,71$$

O valor da estatística de teste é será $Z_R = 67,69$.

Como $Z_{5\%} = 1,96$, tem-se que $Z_R > Z_{5\%}$. Sendo assim, rejeita-se a Hipótese Nula para um nível de significância de 5%, concluindo que a amostra não é aleatória. A explicação para a não aleatoriedade é igual à apresentada para a máquina 144. A média dos pesos de cada cavidade é apresentada na tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Pesos médios das embalagens por cavidade

Número da cavidade	Média dos pesos (g)
1	15,25
2	14,99

- **Independência dos dados**

Para testar a independência dos dados, recorreu-se às funções de auto-correlação e auto-correlação parcial que devolveram os gráficos das figuras 5.10 e 5.11.

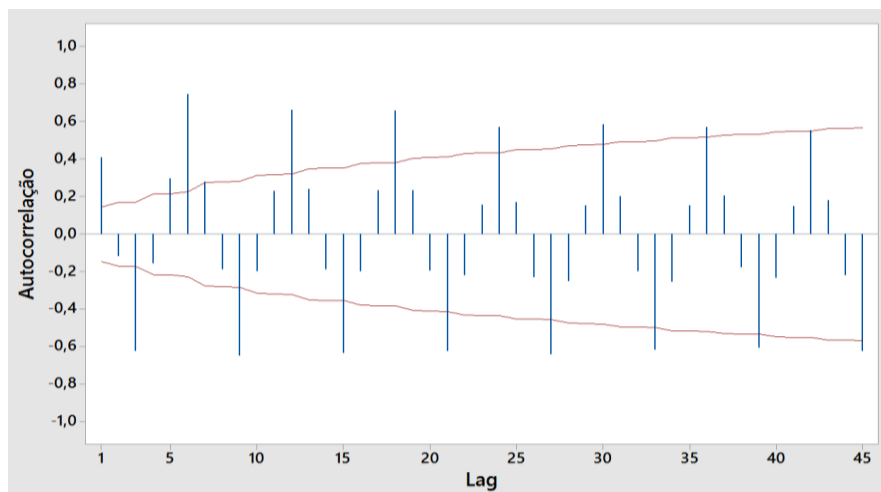


Figura 5.10 - Função de auto-correlação

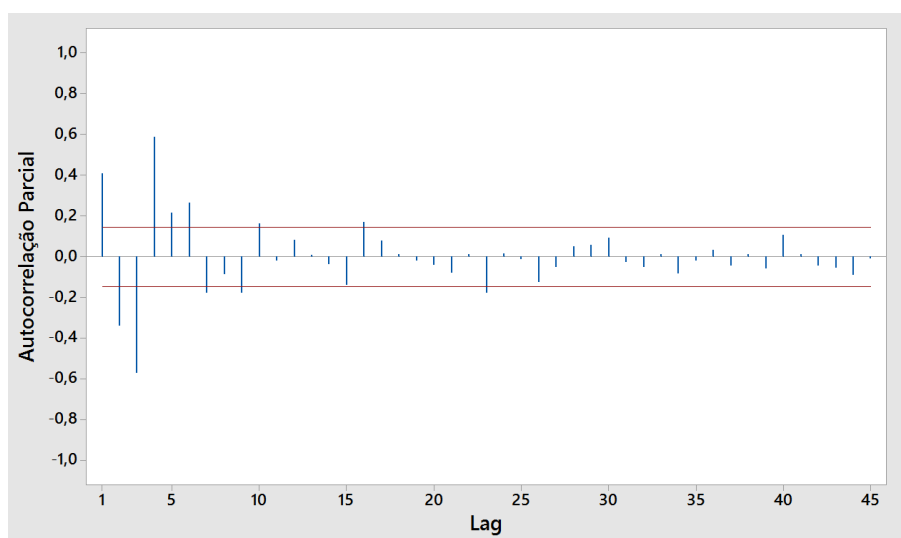


Figura 5.11 - Função de auto-correlação parcial

Como é possível visualizar, os dados não estão contidos no intervalo, pelo que se pode concluir que os dados são auto-correlacionados. Sendo assim, procede-se ao cálculo do coeficiente de correlação médio ρ através da matriz correlação. A determinação da matriz correlação foi efetuada pelo *Excel*.

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0,768 & 0,5101 & 0,419 & 0,558 & 0,121 \\ 0,768 & 1 & 0,534 & 0,429 & 0,482 & 0,177 \\ 0,510 & 0,534 & 1 & 0,405 & 0,396 & 0,426 \\ 0,419 & 0,430 & 0,405 & 1 & 0,839 & 0,719 \\ 0,558 & 0,482 & 0,396 & 0,839 & 1 & 0,620 \\ 0,121 & 0,177 & 0,426 & 0,719 & 0,620 & 1 \end{bmatrix}$$

O coeficiente de correlação médio estimado é:

$$\hat{\rho} = 0,494$$

Para verificar se a correlação entre amostras é significativa, recorre-se ao teste de hipóteses mencionado no capítulo 2. Assim, para um nível de significância de 5%, obtiveram-se os seguintes valores:

$$\chi_c^2 = 219,44$$

$$\chi_{0,05;15}^2 = 25$$

Uma vez que $\chi_c^2 > \chi_{0,05;15}^2$, então rejeita-se H_0 para um nível de significância de 5%. Concluindo, assim, que existe efetivamente auto-correlação entre os dados.

- **Normalidade**

A avaliação da Normalidade dos dados foi feita através do Teste de Kolmogorov-Smirnov. Para o cálculo do $D_{crítico}$ considerou-se a mesma expressão que se tinha considerado no caso da máquina 144, sendo o valor a considerar:

$$D_{crítico} = 0,0660$$

Do *Minitab* retira-se que $D = 0,1457$, pelo que se tem:

$$D > D_{crítico}$$

Sendo assim, conclui-se que os dados não são Normalmente distribuídos.

- **Construção das cartas de controlo**

Dado que em secções anteriores deste capítulo, se concluiu que as amostras são auto-correlacionadas, os limites de controlo das cartas têm em conta o coeficiente de correlação médio. Com os valores da tabela 5.4 é possível calcular os limites de controlo e construir a carta \bar{X} .

Tabela 5.4 - Dados usados para construção da carta \bar{X}

Parâmetros	Valor
$\hat{\rho}$	0,494
c_4	0,9515
$\bar{\bar{X}}(\text{g})$	15,123
\bar{S}	0,149

Os limites de controlo obtidos foram:

$$LSC_{\bar{X}} = 15,625$$

$$LIC_{\bar{X}} = 14,621$$

A construção da carta \bar{X} foi realizada com o auxílio do *Minitab* (figura 5.12).

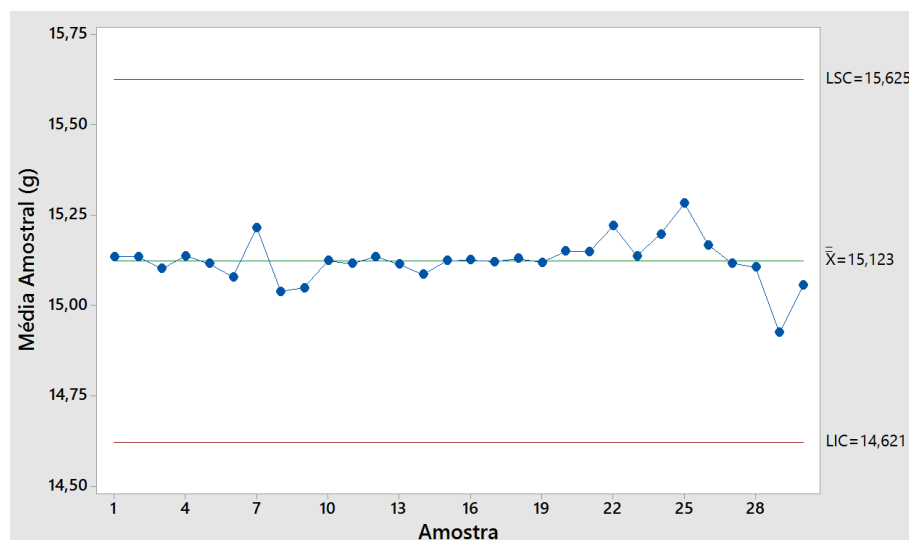


Figura 5.12 - Carta \bar{X} (peso das embalagens)

Para determinar os limites de controlo da carta S é necessário estimar γ_4 . Para determinar a matriz da covariância V foi necessário recorrer ao *Excel*. A matriz obtida foi a seguinte:

$$V = \begin{bmatrix} 5,99\text{E} - 03 & 4,60\text{E} - 03 & 2,43\text{E} - 03 & 2,92\text{E} - 03 & 3,89\text{E} - 03 & 7,99\text{E} - 04 \\ 4,60\text{E} - 03 & 6,00\text{E} - 03 & 2,55\text{E} - 03 & 2,99\text{E} - 03 & 3,37\text{E} - 03 & 1,17\text{E} - 03 \\ 2,43\text{E} - 03 & 2,55\text{E} - 03 & 3,79\text{E} - 03 & 2,25\text{E} - 03 & 2,20\text{E} - 03 & 2,25\text{E} - 03 \\ 2,92\text{E} - 03 & 2,99\text{E} - 03 & 2,25\text{E} - 03 & 8,11\text{E} - 03 & 6,81\text{E} - 03 & 5,54\text{E} - 03 \\ 3,89\text{E} - 03 & 3,37\text{E} - 03 & 2,20\text{E} - 03 & 6,81\text{E} - 03 & 8,12\text{E} - 03 & 4,78\text{E} - 03 \\ 7,99\text{E} - 04 & 1,17\text{E} - 03 & 2,25\text{E} - 03 & 5,54\text{E} - 03 & 4,78\text{E} - 03 & 7,31\text{E} - 03 \end{bmatrix}$$

Teve de se se proceder ao calculo de V^2 de forma a determinar o traço da matriz e ainda Ω .

Tendo-se obtido a seguinte matriz: $V^2 = VV =$

$$= \begin{bmatrix} 8,73E-05 & 8,42E-05 & 5,24E-05 & 9,14E-05 & 9,95E-05 & 5,63E-05 \\ 8,42E-05 & 8,53E-05 & 5,29E-05 & 9,08E-05 & 9,70E-05 & 5,77E-05 \\ 5,24E-05 & 5,29E-05 & 4,17E-05 & 6,89E-05 & 7,03E-05 & 5,28E-05 \\ 9,14E-05 & 9,08E-05 & 6,89E-05 & 1,65E-04 & 1,63E-04 & 1,29E-04 \\ 9,95E-05 & 9,70E-05 & 7,03E-05 & 1,63E-04 & 1,67E-04 & 1,24E-04 \\ 5,63E-05 & 5,77E-05 & 5,28E-05 & 1,29E-04 & 1,24E-04 & 1,14E-04 \end{bmatrix}$$

Os resultados obtidos foram:

$$tr(V^2) = 6,61E-04$$

$$\Omega = 3,24E-03$$

$$v = 0,136$$

Com base nos dados anteriores, nos dados da tabela 5.4 e recorrendo às expressões 2.43 a 2.49 do capítulo 2, podemos determinar η^2 , σ e γ_4 . Obtiveram-se os seguintes resultados:

$$\eta^2 = 7,784 E-06$$

$$\hat{\sigma} = 0,220$$

$$\gamma_4 = 0,994$$

Consequentemente, determinam-se os valores dos limites e constrói-se a carta S (figura 5.13).

$$LSC_S = 0,199$$

$$LIC_S = 0,0986$$

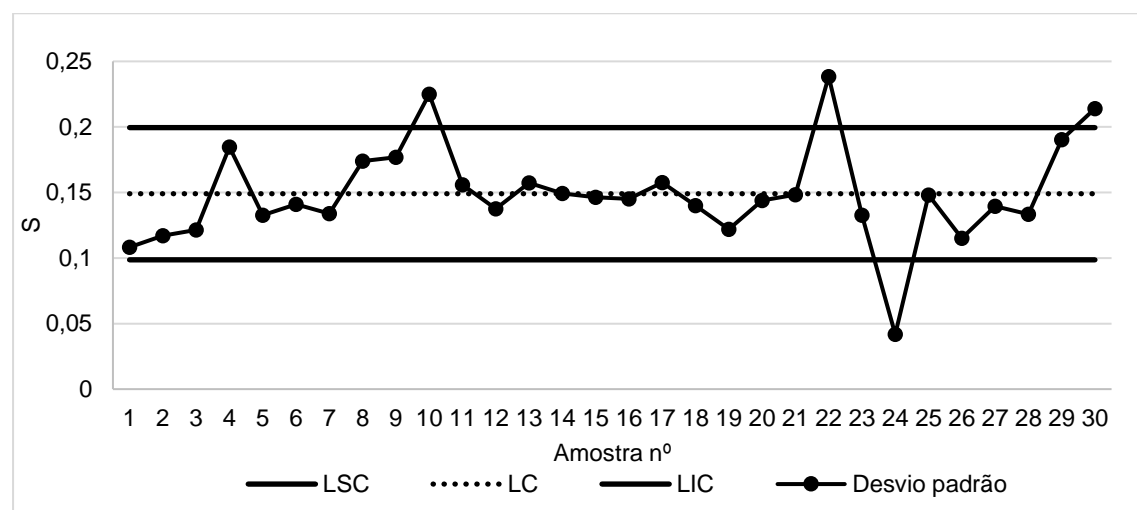


Figura 5.13 - Carta S (peso das embalagens)

Como é possível ver na figura acima, existem 4 amostras fora dos limites de controlo (pontos 10, 22, 24, 30) pelo que é necessário remover essas amostras e calcular novamente os limites de ambas as cartas.

Uma vez que removemos os pontos é necessário estimar novamente o valor do coeficiente de correlação médio, pelo que se recorreu-se novamente ao Excel. A matriz correlação obtida foi:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0,698 & 0,297 & 0,635 & 0,816 & 0,28 \\ 0,698 & 1 & 0,396 & 0,615 & 0,687 & 0,361 \\ 0,297 & 0,396 & 1 & 0,580 & 0,540 & 0,673 \\ 0,635 & 0,615 & 0,580 & 1 & 0,825 & 0,654 \\ 0,816 & 0,687 & 0,540 & 0,825 & 1 & 0,504 \\ 0,281 & 0,361 & 0,673 & 0,654 & 0,504 & 1 \end{bmatrix}$$

O valor do coeficiente de correlação médio resultante foi:

$$\hat{\rho} = 0,571$$

Os dados necessários ao calculo dos limites da carta \bar{X} encontram-se na tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Dados utilizados no calculo dos limites da carta \bar{X}

Parâmetro	Valor
\bar{S}	0,144
c_4	0,9515
$\hat{\rho}$	0,571

Os limites de controlo obtidos para a carta \bar{X} foram:

$$LSC_{\bar{X}} = 15,676$$

$$LIC_{\bar{X}} = 14,563$$

Com os valores dos limites determinados, é possível passar à construção da carta \bar{X} . Para tal foi necessário recorrer novamente ao *Minitab*, tendo-se obtido a carta da ilustrada na figura 5.14.

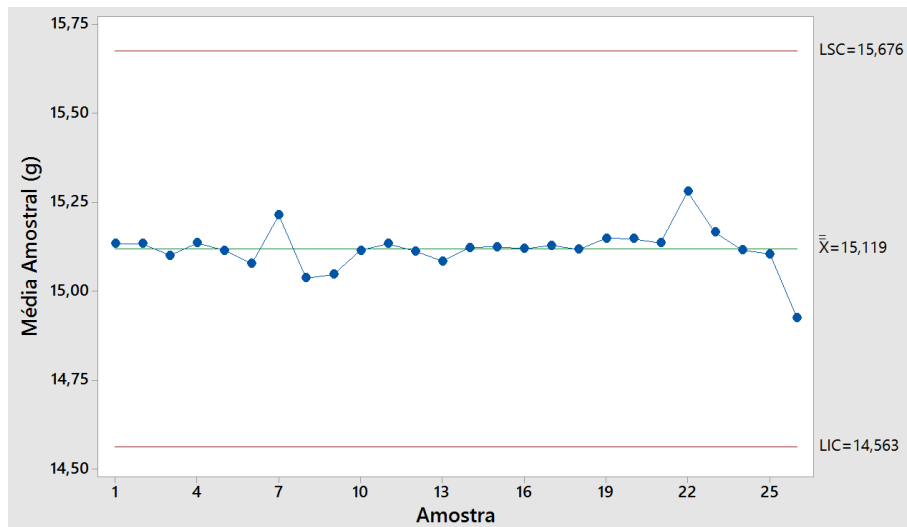


Figura 5.14 - Carta \bar{X} (peso das embalagens)

Aplicou-se o procedimento descrito anteriormente para a construção dos limites da carta S .

As matrizes a que se chegou foram:

$$V = \begin{bmatrix} 4,66E-03 & 3,52E-03 & 1,13E-03 & 3,75E-03 & 4,81E-03 & 1,42E-03 \\ 3,52E-03 & 5,44E-03 & 1,62E-03 & 3,93E-03 & 4,37E-03 & 1,96E-03 \\ 1,13E-03 & 1,62E-03 & 3,09E-03 & 2,79E-03 & 2,59E-03 & 2,76E-03 \\ 3,75E-03 & 3,93E-03 & 2,79E-03 & 7,49E-03 & 6,16E-03 & 7,45E-03 \\ 4,81E-03 & 4,37E-03 & 2,59E-03 & 6,16E-03 & 7,45E-03 & 3,21E-03 \\ 1,42E-03 & 1,96E-03 & 2,76E-03 & 4,17E-03 & 3,21E-03 & 5,43E-03 \end{bmatrix}$$

$$V^2 = VV$$

$$= \begin{bmatrix} 7,46E-05 & 7,59E-05 & 4,13E-05 & 9,81E-05 & 1,04E-04 & 8,96E-05 \\ 7,59E-05 & 8,30E-05 & 4,55E-05 & 1,04E-04 & 1,08E-04 & 7,41E-05 \\ 4,13E-05 & 4,55E-05 & 3,56E-05 & 6,76E-05 & 6,59E-05 & 5,74E-05 \\ 1,03E-04 & 1,10E-04 & 7,66E-05 & 1,62E-04 & 1,58E-04 & 1,37E-04 \\ 1,04E-04 & 1,08E-04 & 6,59E-05 & 1,48E-04 & 1,53E-04 & 1,10E-04 \\ 5,54E-05 & 6,12E-05 & 4,82E-05 & 9,44E-05 & 8,96E-05 & 8,43E-05 \end{bmatrix}$$

Obtiveram-se os seguintes valores para as constantes:

$$tr(V^2) = 5,93E-04$$

$$\Omega = 3,13E-03$$

$$v = 0,133$$

$$\eta^2 = 3,29E-06$$

$$\hat{\sigma} = 0,232$$

$$\gamma_4 = 0,996$$

Os valores obtidos para os limites de controlo da carta S (figura 5.15) foram os seguintes:

$$LSC_S = 0,184$$

$$LIC_S = 0,104$$

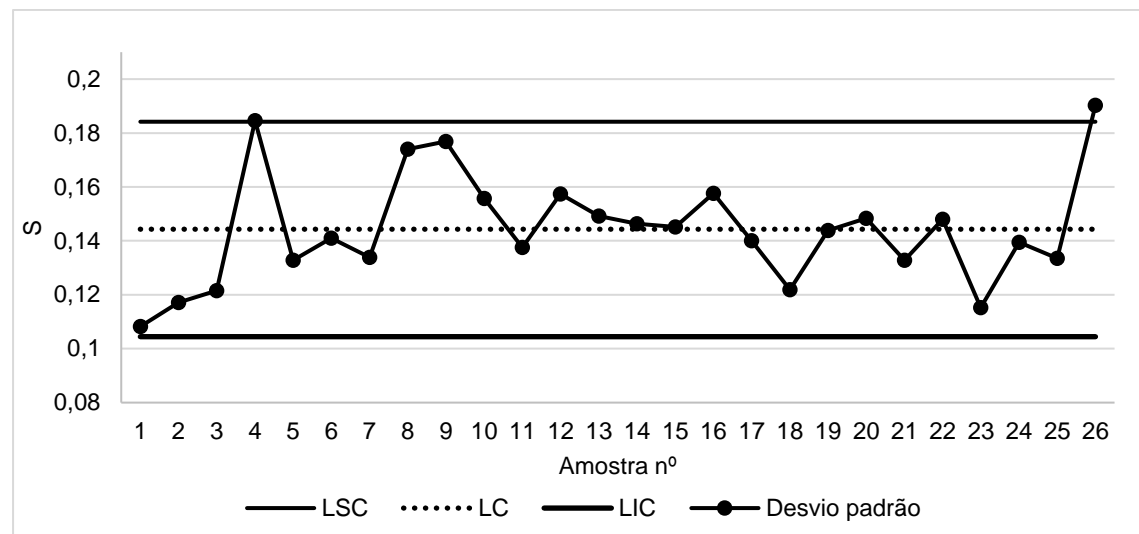


Figura 5.15 - Carta S (peso das embalagens)

Uma vez que ainda existem dois pontos fora dos limites na carta S, nomeadamente os pontos número 4 e 26, removem-se esses pontos em ambas as cartas e aplica-se o mesmo procedimento. As matrizes utilizadas nos cálculos das constantes foram:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0,699 & 0,406 & 0,759 & 0,807 & 0,166 \\ 0,699 & 1 & 0,248 & 0,498 & 0,568 & 0,003 \\ 0,406 & 0,248 & 1 & 0,419 & 0,506 & 0,515 \\ 0,759 & 0,498 & 0,419 & 1 & 0,827 & 0,453 \\ 0,807 & 0,568 & 0,506 & 0,827 & 1 & 0,261 \\ 0,166 & 0,003 & 0,515 & 0,453 & 0,261 & 1 \end{bmatrix}$$

$$V = \begin{bmatrix} 3,26E-03 & 2,63E-03 & 1,11E-03 & 3,29E-03 & 3,41E-03 & 4,91E-04 \\ 2,63E-03 & 4,32E-03 & 7,82E-04 & 2,49E-03 & 2,76E-03 & 1,09E-05 \\ 1,11E-03 & 7,82E-04 & 2,30E-03 & 1,52E-03 & 1,80E-03 & 1,28E-03 \\ 3,29E-03 & 2,49E-03 & 1,52E-03 & 5,76E-03 & 4,64E-03 & 1,78E-03 \\ 3,41E-03 & 2,76E-03 & 1,80E-03 & 4,64E-03 & 5,48E-03 & 1,00E-03 \\ 4,91E-04 & 1,09E-05 & 1,28E-03 & 1,78E-03 & 1,00E-03 & 2,69E-03 \end{bmatrix}$$

$$V^2 = VV = \begin{bmatrix} 4,15E-05 & 3,84E-05 & 2,00E-05 & 5,46E-05 & 5,48E-05 & 1,37E-05 \\ 3,84E-05 & 4,00E-05 & 1,69E-05 & 4,77E-05 & 4,90E-05 & 9,56E-06 \\ 2,00E-05 & 1,69E-05 & 1,43E-05 & 2,85E-05 & 2,83E-05 & 1,15E-05 \\ 5,46E-05 & 4,77E-05 & 2,85E-05 & 7,72E-05 & 7,48E-05 & 2,33E-05 \\ 5,48E-05 & 4,90E-05 & 2,83E-05 & 7,48E-05 & 7,51E-05 & 2,05E-05 \\ 1,37E-05 & 9,56E-06 & 1,15E-05 & 2,33E-05 & 2,05E-05 & 1,33E-05 \end{bmatrix}$$

Os valores das constantes determinadas e usadas na construção das cartas são:

$$\hat{p} = 0,476$$

$$\bar{\bar{X}} = 15,127$$

$$\bar{S} = 0,141$$

$$tr(V^2) = 2,61E - 04$$

$$\Omega = 1,24E - 03$$

$$v = 0,0818$$

$$\eta^2 = 2,60 E - 06$$

$$\hat{\sigma} = 0,204$$

$$\gamma_4 = 0,998$$

Assim os limites de controlo das duas cartas são:

$$LSC_{\bar{X}} = 15,586$$

$$LIC_{\bar{X}} = 14,667$$

$$LSC_S = 0,111$$

$$LIC_S = 0,104$$

Obtiveram-se as cartas das figuras 5.16 e 5.17.

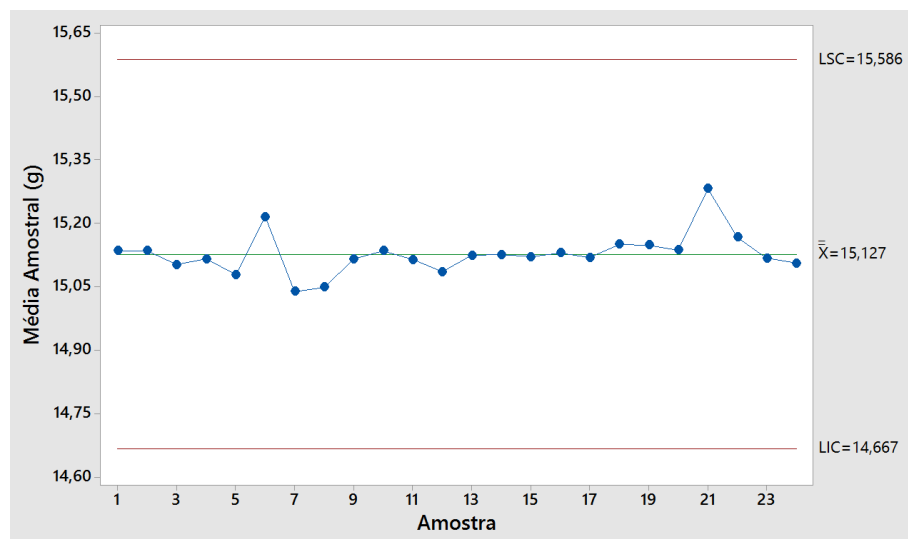


Figura 5.16 - Carta \bar{X} (peso das embalagens)

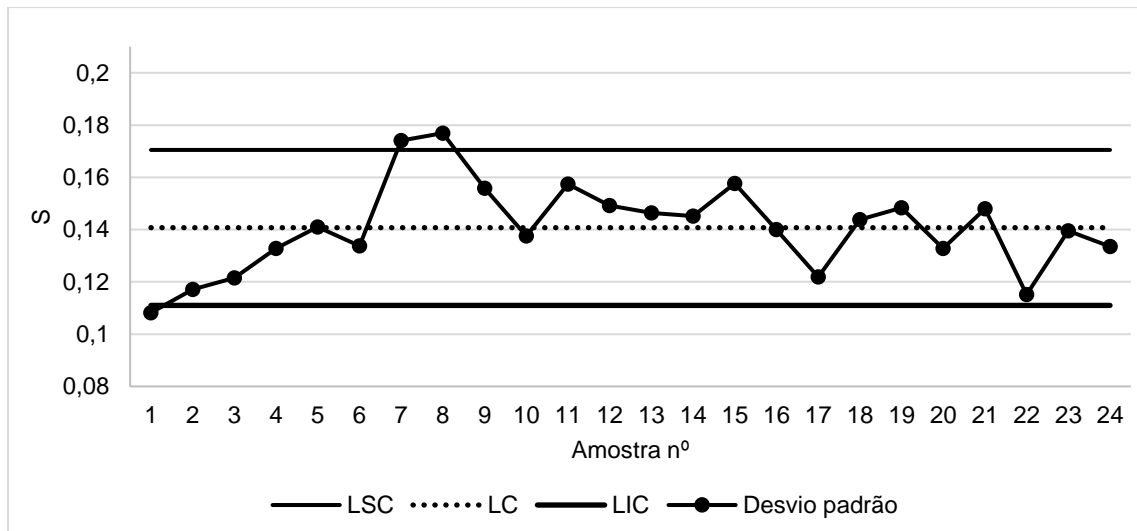


Figura 5.17 - Carta S (peso das embalagens)

Dado que é necessário remover os pontos número 1, 7 e 8, realizou novamente o mesmo procedimento. As matrizes determinadas pelo *Excel* foram:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0,699 & 0,401 & 0,733 & 0,782 & -0,048 \\ 0,699 & 1 & 0,242 & 0,494 & 0,549 & -0,141 \\ 0,401 & 0,242 & 1 & 0,448 & 0,520 & 0,596 \\ 0,733 & 0,494 & 0,448 & 1 & 0,787 & 0,154 \\ 0,782 & 0,549 & 0,520 & 0,787 & 1 & 0,004 \\ -0,048 & -0,141 & 0,596 & 0,154 & 0,004 & 1 \end{bmatrix}$$

$$V = \begin{bmatrix} 3,23E-03 & 2,74E-03 & 1,06E-03 & 2,69E-03 & 3,15E-03 & -1,23E-04 \\ 2,74E-03 & 4,75E-03 & 7,75E-04 & 2,20E-03 & 2,69E-03 & -4,34E-04 \\ 1,06E-03 & 7,75E-04 & 2,16E-03 & 1,34E-03 & 1,71E-03 & 1,24E-03 \\ 2,69E-03 & 2,20E-03 & 1,34E-03 & 4,17E-03 & 3,61E-03 & 4,45E-04 \\ 3,15E-03 & 2,69E-03 & 1,71E-03 & 3,61E-03 & 5,04E-03 & 1,11E-05 \\ -1,23E-04 & -4,34E-04 & 1,24E-03 & 4,45E-04 & 1,11E-05 & 2,00E-03 \end{bmatrix}$$

$$V^2 = VV = \begin{bmatrix} 3,62E-05 & 3,71E-05 & 1,67E-05 & 3,86E-05 & 4,49E-05 & 7,11E-07 \\ 3,71E-05 & 4,28E-05 & 1,53E-05 & 3,75E-05 & 4,42E-05 & -1,30E-06 \\ 1,67E-05 & 1,53E-05 & 1,26E-05 & 1,98E-05 & 2,26E-05 & 5,28E-06 \\ 3,86E-05 & 3,75E-05 & 1,98E-05 & 4,44E-05 & 4,99E-05 & 3,16E-06 \\ 4,49E-05 & 4,42E-05 & 2,26E-05 & 4,99E-05 & 5,85E-05 & 2,25E-06 \\ 7,11E-07 & -1,30E-06 & 5,28E-06 & 3,16E-06 & 2,25E-06 & 5,91E-06 \end{bmatrix}$$

Os valores das constantes obtidas foram:

$$\hat{\rho} = 0,415$$

$$\bar{\bar{X}} = 15,134$$

$$\bar{S} = 0,139$$

$$tr(V^2) = 2,01 E - 04$$

$$\Omega = 8,74E - 03$$

$$v = 0,0675$$

$$\eta^2 = 2,88 E - 06$$

$$\hat{\sigma} = 0,191$$

$$\gamma_4 = 0,998$$

Assim os limites de controlo das duas cartas são:

$$LSC_{\bar{X}} = 15,544$$

$$LIC_{\bar{X}} = 14,724$$

$$LSC_S = 0,111$$

$$LIC_S = 0,104$$

Obtiveram-se as cartas das figuras 5.18 e 5.19.

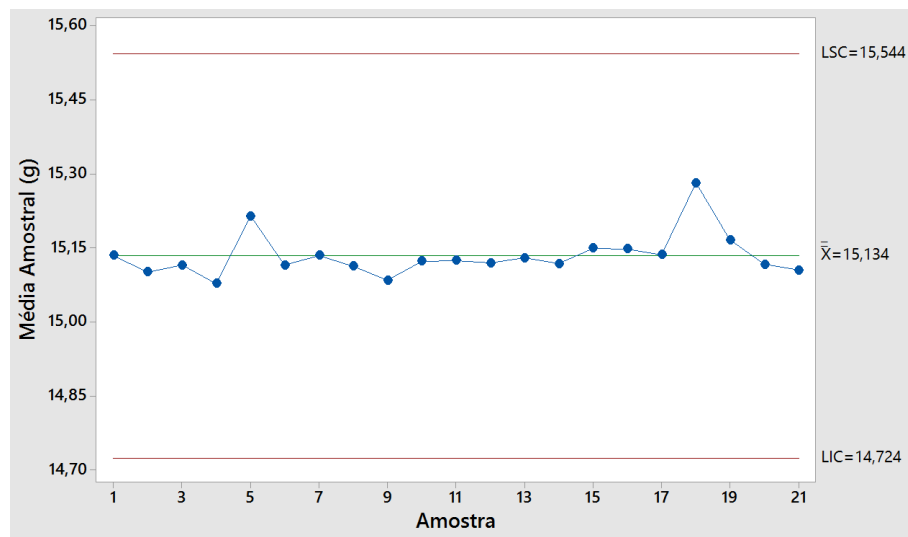


Figura 5.18 - Carta \bar{X} (peso das embalagens)

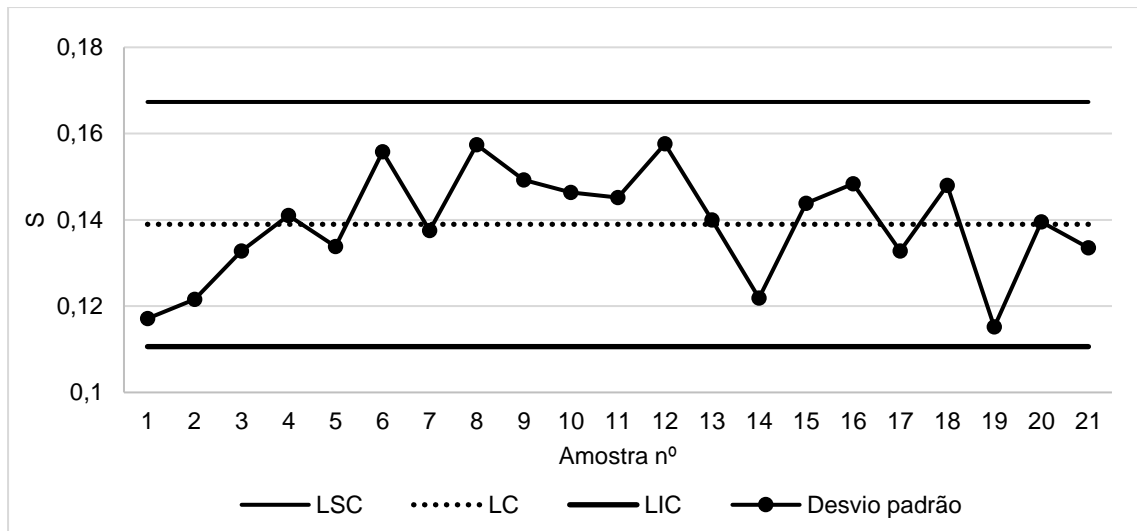


Figura 5.19 - Carta S (peso das embalagens)

Dado que não existem mais situações fora dos limites de controlo, passa-se agora à aplicação das regras para deteção de causas especiais das quais resultaram os gráficos 5.20 e 5.21.

Na carta \bar{X} pode-se observar a regra 7 (quinze pontos consecutivos na zona C acima e abaixo da linha central). Na carta S não foi detetada nenhuma regra que permita afirmar que o padrão não é aleatório.

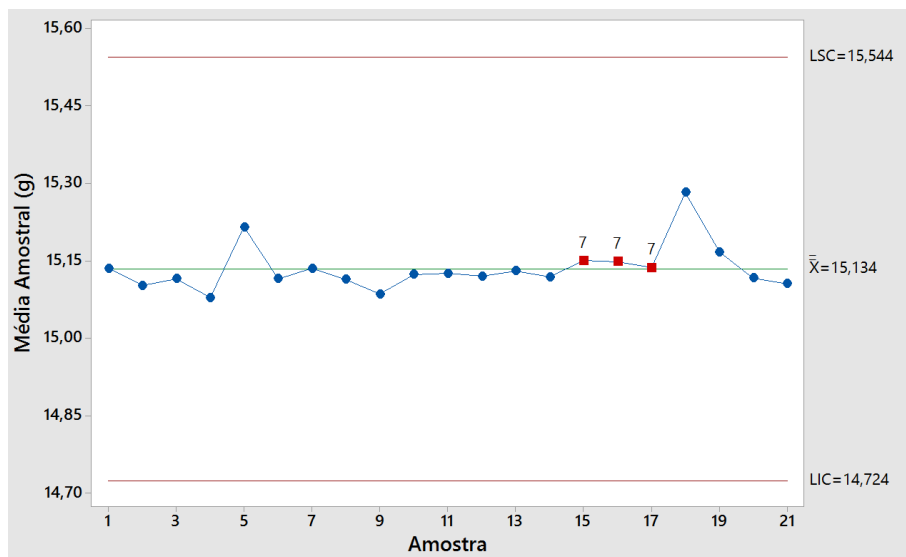


Figura 5.20 - Aplicação das regras de deteção de causas especiais de variação (carta \bar{X})

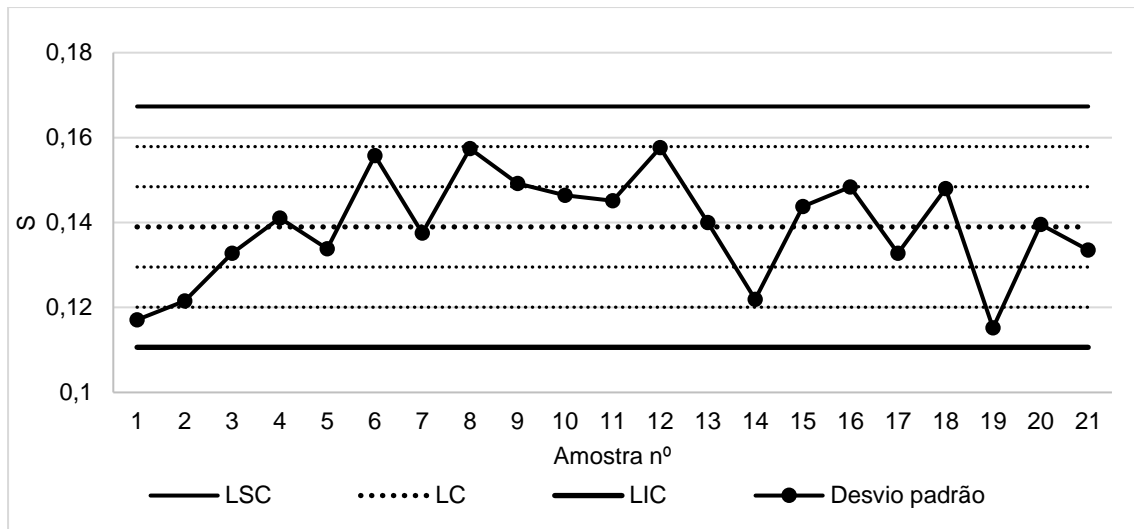


Figura 5.21 - Aplicação das regras de detecção de causas especiais de variação (carta S)

Posto isto, conclui-se que o processo não se encontra sob controlo estatístico nesta máquina.

A tendência observada na carta \bar{X} inicia-se na amostra nº 6. O lote de matéria-prima principal (PP) de acordo com os meus registos mudou no dia em que a amostra número 9 foi recolhida, e voltou a mudar no dia em que se recolheu a amostra número 21. Assim pode-se afirmar que este padrão não aleatório está associado à alteração da matéria-prima principal. A justificação que encontro para este padrão está relacionada com o índice de fluidez da matéria-prima em causa. Quando trocou o lote, passou-se para uma matéria-prima com um índice superior. Se o índice é superior, a matéria-prima tem mais facilidade em fluir (é menos viscosa), pelo que perante esta situação os operadores baixam a dosagem de material, produzindo embalagens com peso médio inferior às embalagens do lote anterior. Para facilitar esta análise considerou-se o gráfico da figura III.1 disponível no anexo III.

Uma vez que foram determinados os parâmetros podemos inferir sobre a capacidade que o processo tem para produzir de acordo com as especificações do cliente. Recorrendo às expressões 2.54 a 2.57 do capítulo 2 chegamos aos seguintes resultados:

$$C_p = 1,02$$

$$C_{pk} = 0,74$$

Tal como seria de esperar, o processo não é capaz para a especificação técnica $15 \pm 0,5$ g.

5.3. Cartas conjuntas

Tal como nos casos anteriores, antes de proceder à construção das cartas é necessário verificar os três pressupostos.

Verificação das condições de aplicabilidade das cartas de controlo

- **Aleatoriedade**

Para avaliar a aleatoriedade considerei o Teste das Sequências. Construiu-se o gráfico das observações individuais, mas foi necessário remover os pontos que se encontravam fora dos limites de controlo até que todos os pontos estivessem contidos nos limites. Os passos intermédios, à semelhança dos casos anteriores, encontram-se disponíveis no anexo VIII. Sendo assim, considerou-se a figura 5.22 para a aplicação do teste das sequências.

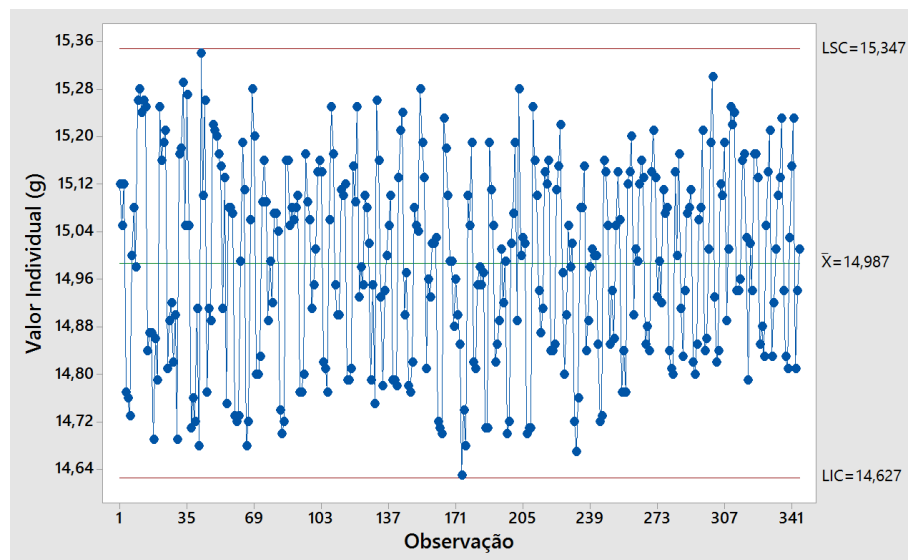


Figura 5.22 - Gráfico das observações individuais (peso das embalagens)

Da figura acima concluímos que:

$$N_A = 60$$

$$N_B = 58$$

Como a nossa dimensão total das amostras é superior a 25, podemos aproximar a distribuição da variável R à Normal. Assim, a média e a variância são respectivamente:

$$\mu_R = 59,983$$

$$\sigma_R = 29,231$$

O valor da estatística de teste é será $Z_R = 1,985$.

Como $Z_{5\%} = 1,96$, tem-se que $Z_R > Z_{5\%}$. Sendo assim, rejeita-se a Hipótese Nula para um nível de significância de 5%, concluindo que a amostra não é aleatória.

A explicação para a não aleatoriedade é igual à apresentada para as máquinas em separado.

- **Independência dos dados**

Para testar a independência dos dados, recorreu-se às funções de auto-correlação e auto-correlação parcial disponíveis no *Minitab*, que devolveram os gráficos das figuras 5.23 e 5.24.

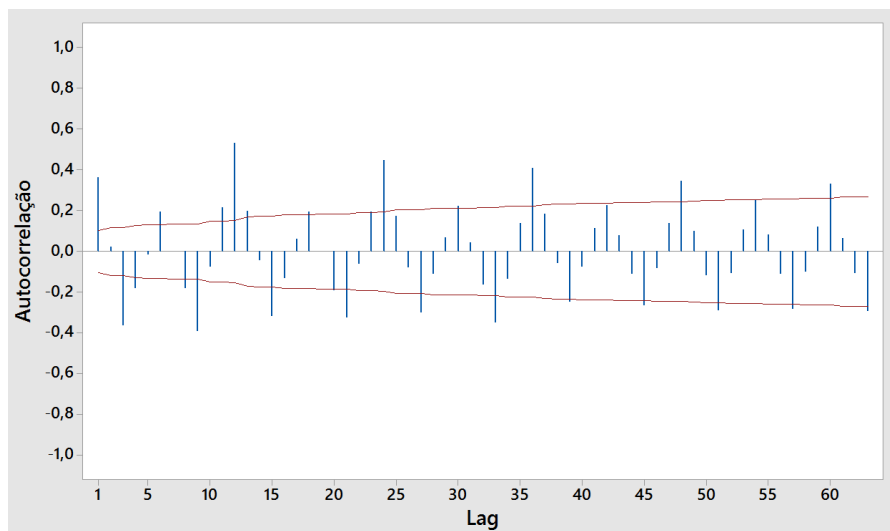


Figura 5.23 - Função de auto-correlação

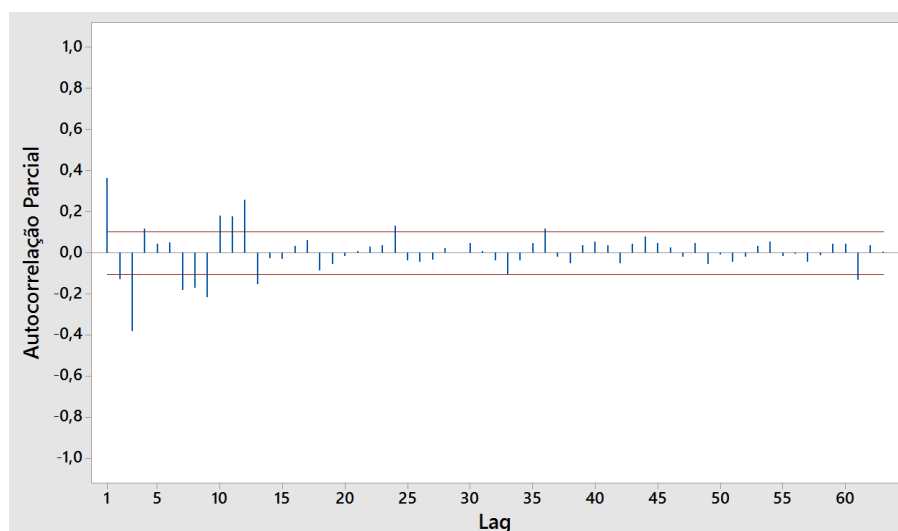


Figura 5.24 - Função de auto-correlação parcial

Como os dados não estão contidos no intervalo, pelo que se pode concluir que os dados são auto-correlacionados. Sendo assim, procede-se ao cálculo do coeficiente de correlação médio ρ através da matriz correlação.

$R =$

1	0,738	0,866	-0,198	-0,193	-0,194	-0,279	-0,224	-0,123	-0,221	0,061	0,195
0,738	1	0,854	-0,118	-0,024	-0,070	-0,487	-0,266	-0,364	0,176	0,101	0,125
0,866	0,854	1	-0,018	-0,054	0,010	-0,379	-0,196	-0,188	-0,067	0,064	0,170
-0,198	-0,118	-0,018	1	0,872	0,916	0,131	0,193	0,082	-0,192	0,137	-0,230
-0,193	-0,024	-0,054	0,872	1	0,896	0,131	0,155	-0,064	-0,042	0,081	-0,246
-0,194	-0,070	0,010	0,916	0,896	1	0,022	0,026	-0,074	-0,105	0,173	-0,146
-0,279	-0,487	-0,379	0,131	0,131	0,022	1	0,759	0,706	-0,373	-0,318	-0,462
-0,224	-0,266	-0,196	0,193	0,155	0,026	0,759	1	0,679	-0,409	-0,424	-0,588
-0,123	-0,364	-0,188	0,082	-0,064	-0,074	0,706	0,679	1	-0,503	-0,423	-0,352
-0,221	0,176	-0,067	-0,192	-0,042	-0,105	-0,373	-0,409	-0,503	1	0,405	0,421
0,061	0,101	0,064	0,137	0,081	0,173	-0,318	-0,424	-0,423	0,405	1	0,550
0,195	0,125	0,170	-0,230	-0,246	-0,146	-0,462	-0,588	-0,352	0,421	0,550	1

O coeficiente de correlação médio estimado é:

$$\hat{\rho} = 0,0315$$

Para verificar se a correlação entre amostras é significativa, recorre-se ao teste de hipóteses mencionado no capítulo 2 (método para verificar se os dados são correlacionados). Assim, para um nível de significância de 5%, obtiveram-se os seguintes valores:

$$\chi_c^2 = 472,636$$

$$\chi_{0,05;66}^2 = 86,99$$

Uma vez que $\chi_c^2 > \chi_{0,05;15}^2$, então rejeita-se H_0 para um nível de significância de 5%. Concluindo, assim, que existe efetivamente auto-correlação entre os dados.

- **Normalidade**

A avaliação da Normalidade dos dados foi feita através do Teste de Kolmogorov-Smirnov. O valor do D_{critico} considerado será de 0,0467. Determinou-se que $D = 0,0648$, pelo que se tem $D > D_{\text{critico}}$. Sendo assim, conclui-se que os dados não são Normalmente distribuídos.

- **Construção das cartas de controlo**

Como se concluiu que as amostras são auto-correlacionadas, os limites de controlo das cartas têm em conta o coeficiente de correlação médio. Para determinar os limites de controlo da carta \bar{X} consideraram-se os valores da tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Dados usados para construção das cartas

Dados	Valor
$\hat{\rho}$	0,0315
c_4	0,9776
$\bar{\bar{X}}(\text{g})$	14,989
\bar{S}	0,187

A carta \bar{X} encontra-se disponível na figura 5.25 e apresenta os seguintes limites de controlo:

$$LSC_{\bar{X}} = 15,184$$

$$LIC_{\bar{X}} = 14,793$$

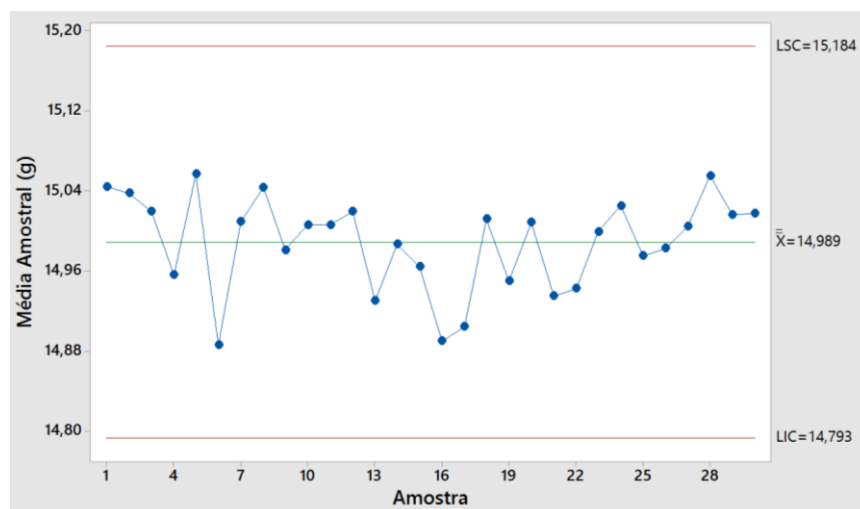


Figura 5.25 - Carta \bar{X} (peso das embalagens)

Para determinar os limites de controlo da carta S é necessário estimar γ_4 . As matrizes obtidas e utilizados nos cálculos que se seguem encontram-se disponíveis no anexo VIII devido ao seu elevado tamanho.

Os resultados obtidos foram:

$$tr(V^2) = 0,0166$$

$$\Omega = 0,0117$$

$$v = 0,307$$

Tabela 5.7 - Dados utilizados na construção da carta S

Parâmetro	Valor
\bar{S}	0,187
c_4	0,9776
$\hat{\rho}$	0,0315

Com base nos dados anteriores e nos dados da tabela 5.7 e recorrendo às expressões 2.43 a 2.49 podemos determinar η^2 , σ e γ_4 . Obtiveram-se os seguintes resultados:

$$\eta^2 = 2,522 \text{ E} - 04$$

$$\hat{\sigma} = 0,200$$

$$\gamma_4 = 0,979$$

Como estes valores determinados é possível construir a carta S (figura 5.26). Os valores obtidos para os limites de controlo foram os seguintes:

$$LSC_S = 0,304$$

$$LIC_S = 0,0670$$

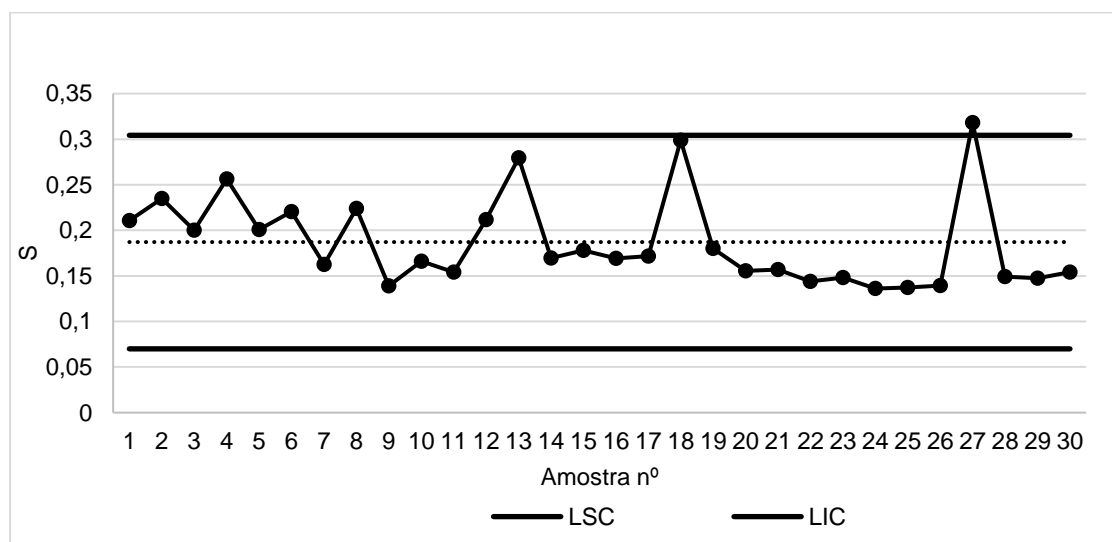


Figura 5.26 - Carta S (peso das embalagens)

Como é possível ver na figura acima, existe um ponto fora dos limites de controlo. Sendo assim é necessário remover esse ponto e calcular novamente os limites de ambas as cartas. Uma vez que removemos os pontos é preciso estimar novamente o valor do coeficiente de

correlação médio e a matriz da covariância. Todas as matrizes utilizadas encontram disponíveis no anexo VIII.

Os dados utilizados na construção da carta \bar{X} foram:

$$\hat{\rho} = 0,381$$

$$\bar{\bar{X}} = 14,988$$

$$\bar{S} = 0,183$$

$$c_4 = 0,9776$$

Os limites de controlo da carta \bar{X} (figura 5.27) obtidos foram:

$$LSC_{\bar{X}} = 15,185$$

$$LIC_{\bar{X}} = 14,792$$

Os dados utilizados na construção da foram:

$$tr(V^2) = 0,0160$$

$$\Omega = 0,0126$$

$$\nu = 0,316$$

$$\eta^2 = 2,405 \text{ E} - 04$$

$$\hat{\sigma} = 0,196$$

$$\gamma_4 = 0,978$$

Os limites de controlo da carta S (figura 5.28) foram:

$$LSC_S = 0,300$$

$$LIC_S = 0,0653$$

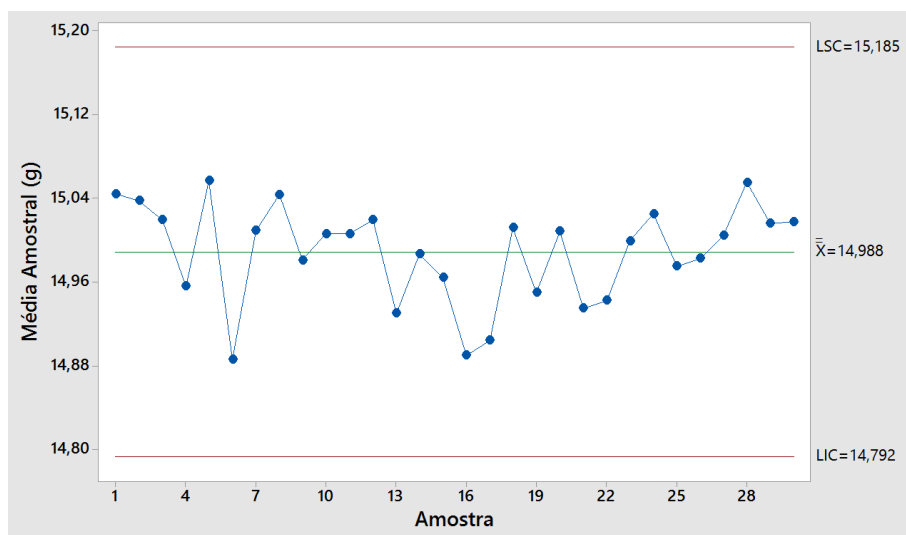


Figura 5.27 - Carta \bar{X} (peso das embalagens)

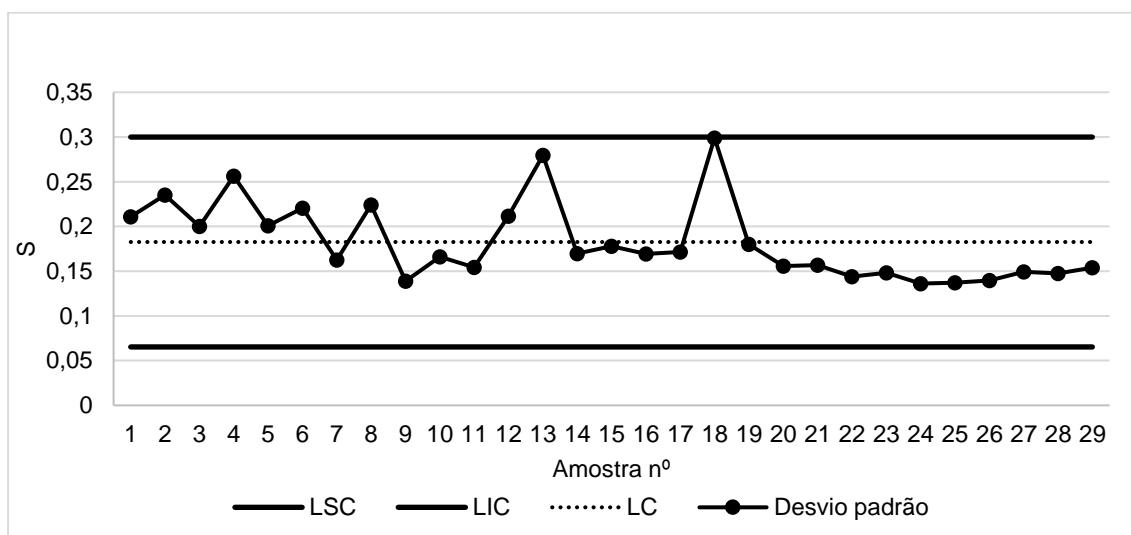


Figura 5.28 - Carta S (peso das embalagens)

Uma vez que em ambas as cartas não se verificam pontos fora dos limites de controlo, podemos passar agora a verificação da existência das regras para deteção de causas especiais de variação. Por aplicação da funcionalidade do *Minitab* que averigua a existência de causas especiais de variação à carta \bar{X} não se detetou nenhuma regra, sendo a carta da figura 5.27 a carta final. Em relação à carta S (figura 5.29) detetou-se a regra número 2 (nove pontos consecutivos na zona C ou para além da zona C do mesmo lado da linha central). A partir da amostra número 19 podemos afirmar que houve uma diminuição considerável do desvio padrão, passando-se de um valor médio de 0,199 para 0,163.

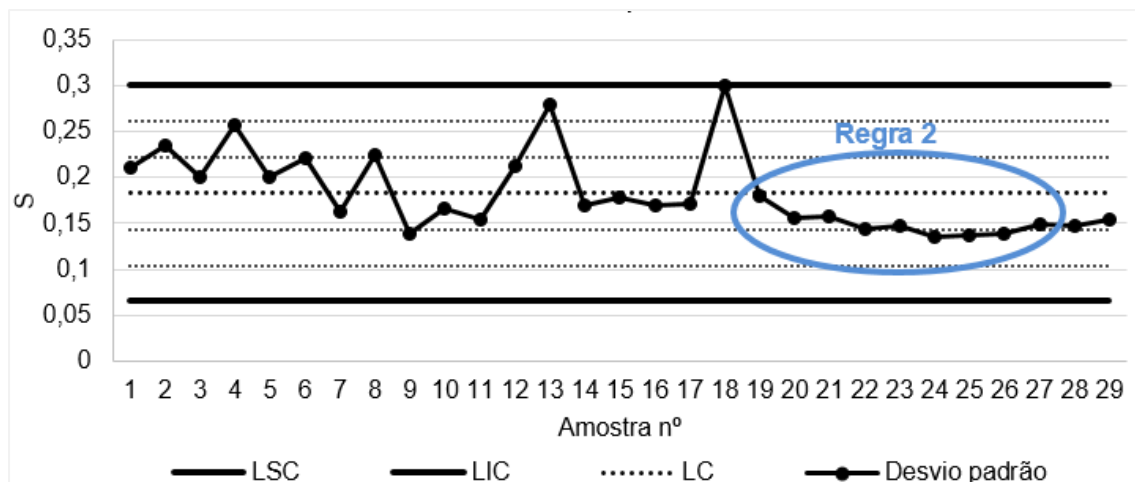


Figura 5.29 - Verificação das regras para detecção de causas especiais de variação (carta S)

Face aos resultados anteriores podemos afirmar que o processo não se encontra sob controlo estatístico. Ainda assim podemos inferir sobre a capacidade que este tem para produzir de acordo com a especificação do cliente. Recorrendo às expressões 2.54 a 2.57 do capítulo 2 chegamos aos seguintes resultados:

$$C_p = 1,11$$

$$C_{pk} = 0,98$$

Tal como seria de esperar, o processo não é capaz para a especificação técnica $15 \pm 0,5$ g uma vez que os valores dos índices obtidos são inferiores a 1,33.

5.4. Comparação das máquinas

Para comparar as duas máquinas é necessário que os dados sejam Normalmente distribuídos. Com base nas análises anteriores concluiu-se que apenas os dados da máquina 144 são Normais. Pelo Teorema do Limite Central, uma vez que a dimensão da amostra é superior a 50, os dados da máquina 145 podem ser considerados Normalmente distribuídos (Requeijo, 2012).

Para os testes considerou-se um nível de significância de 5%.

Comparação das duas médias

1. Duas populações Normais, independentes, com médias μ_{144} e μ_{145} e variâncias conhecidas σ_{144}^2 e σ_{145}^2 .

Anteriormente concluiu-se que os valores obtidos para as variâncias das duas populações foram:

$$\sigma_{144}^2 = 0,0309$$

$$\sigma_{145}^2 = 0,0364$$

Para comparar a média das duas populações recolheram-se 30 amostras de cada máquina. As médias amostrais obtidas foram:

$$\bar{X}_{144} = 14,999$$

$$\bar{X}_{145} = 15,039$$

O valor obtido para a estatística de teste Z_0 foi:

$$|Z_0| = 0,859$$

Da figura IX.1 (anexo IX) retira-se o valor de $Z_{\frac{\alpha}{2}}$:

$$Z_{\frac{\alpha}{2}} = 1,65$$

Como se chegou à conclusão que $Z_0 < Z_{\frac{\alpha}{2}}$, então não se rejeita a hipótese nula para um nível de significância de 5%, ou seja, que não existe evidência de que as amostras recolhidas das duas máquinas apresentem médias diferentes.

2. Duas populações Normais, independentes, com médias μ_{144} e μ_{145} e variâncias desconhecidas

Para aplicação deste teste considerou-se que se desconhecia as variâncias das duas populações. No *Minitab* existem duas funções que permitem realizar a comparação.

2.1. Variâncias não são significativamente diferentes

Para o caso em que as variâncias não são significativamente diferentes retira-se do *Minitab* que $|t_0| = 0,83$. Recorrendo à figura X.1 (anexo X) retira-se o valor de $t_{\frac{\alpha}{2}}; (n_1 + n_2 - 2)$.

$$t_{0,025;58} = 2,0002$$

Como $|t_0| < t_{0,025;58}$ não se rejeita a hipótese nula para um nível de confiança de 5%, pelo que não existem evidência estatística para afirmar que as duas médias não são semelhantes.

2.2. Variâncias significativamente diferentes

Para o caso em que se considera que as variâncias são significativamente diferentes retira-se do *Minitab* que $|t_0| = 0,83$. Para retirar o valor de $t_{\frac{\alpha}{2}; \nu}$ da figura X.1 (anexo X) é necessário determinar o número de graus de liberdade. O cálculo dos graus de liberdade foi feito com recurso à expressão 2.66, tendo-se obtido o seguinte valor:

$$\nu = 57$$

$$\text{Assim, } t_{0,025;57} = 2,0003$$

Como $|t_0| < t_{0,025;57}$, não se rejeita a hipótese nula para um nível de significância de 5%.

- **Comparação de duas variâncias de distribuições Normais**

Para a comparação das duas variâncias consideraram-se as mesmas amostras utilizadas nos casos anteriores. Do *Minitab* retiramos que o valor da estatística de teste é:

$$F_0 = 0,84$$

Da figura XI.1 (anexo XI) retiram-se os seguintes valores:

$$F_{0,025;29;29} = 2,101$$

$$F_{0,975;29;29} = 0,476$$

Como $F_0 > F_{0,975;29;29}$ e $F_0 < F_{0,025;29;29}$ não se rejeita a hipótese nula para um nível de significância de 5%.

Assim, perante os resultados de todos os testes anteriormente realizados, conclui-se que não existem evidências estatísticas que permitam afirmar que as médias e as variâncias das duas populações são significativamente diferentes.

Capítulo 6 – Análise do refugo

6.1. Justificação da recolha de dados

Durante a realização da dissertação houve situações em que procura não justificava estarem ambas as máquinas a produzir, pelo que como a máquina 145 apresentava o processo estabilizado (menor produção de refugo) optou-se por estar a produzir com esta em detrimento da 144. Por esse motivo, a maioria da informação foi recolhida da máquina 145, mas como mencionado anteriormente, ambas as máquinas produzem o mesmo formato, pelo que os resultados da análise do refugo são aplicáveis às duas.

Recolheram-se 236 embalagens não conformes da máquina 145 para classificar o refugo por defeito. Foi considerado apenas o refugo com etiqueta, uma vez que a grande maioria do refugo sem etiqueta está associado à limpeza dos moldes e/ou arranque de máquinas.

Os produtos produzidos nestas máquinas são:

- A – Etiqueta verde e branca
- B – Etiqueta dourada e branca
- C – Etiqueta amarela
- D – Etiqueta amarela e branca

Na presente dissertação dividimos os defeitos em duas categorias: os defeitos relacionados com a colocação da etiqueta e os outros defeitos.

Defeitos relacionados com a colocação da etiqueta

- Embalagens com etiqueta descentrada
- Embalagens com etiquetas coladas
- Embalagens com V's (sobreposição de matéria-prima)
- Embalagens com etiqueta dobrada

Outros defeitos

- Embalagens contaminadas
- Embalagens incompletas
- Embalagens com rebarba

A análise dos defeitos culminou com o gráfico da figura 6.1. Os defeitos relacionados com a incorreta colocação da etiqueta na embalagem representam 76 % do total. Os principais defeitos que podemos encontrar no refugo estão relacionados com etiquetas descentradas e com etiquetas coladas, representando, respetivamente, 44,2 % e 19,2 % do total.

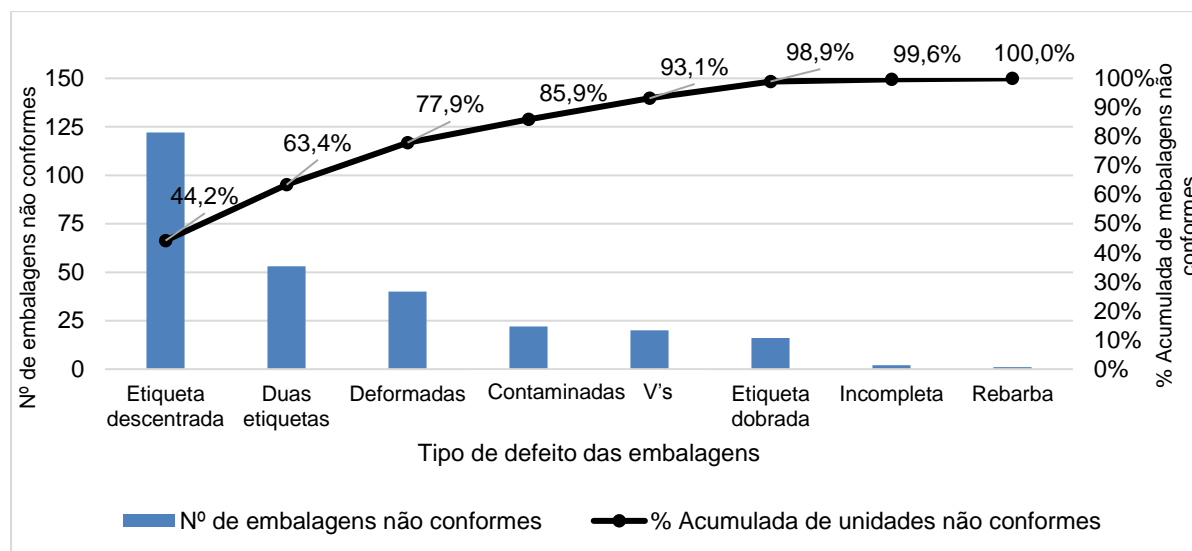


Figura 6.1 – Diagrama de Pareto da máquina 145

6.2. Avaliação do refugo por referência

Nesta fase pretende-se determinar qual a referência com maior contribuição para o refugo total, para tal recolheram-se dados durante 2 meses. Como é possível visualizar no gráfico apresentado na figura 6.2, as duas referências com maior contribuição para o refugo são a A e B.

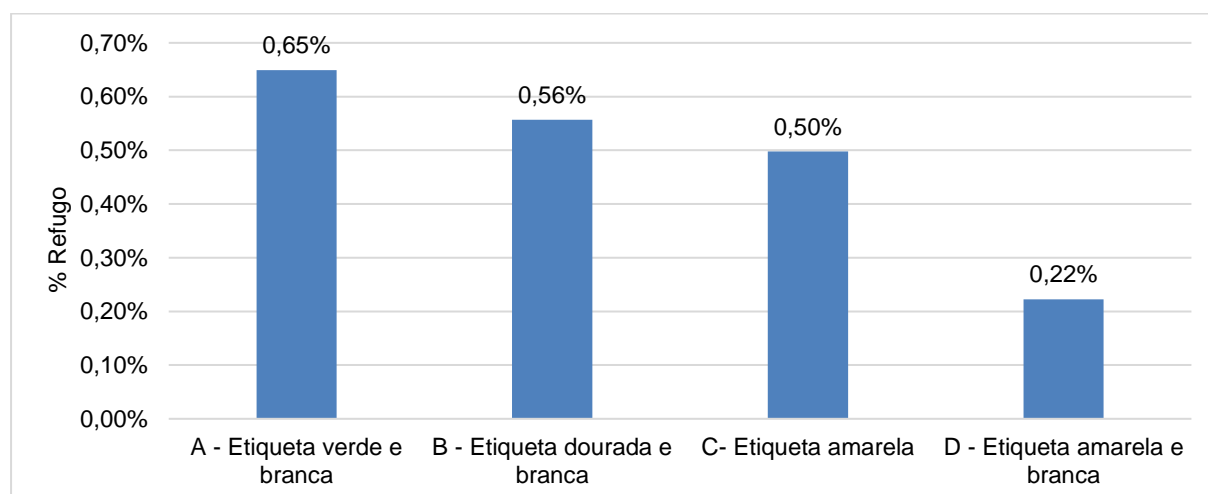


Figura 6.2 - Análise do refugo por referência

Em relação à referência A, não houve uma produção contínua que permitisse a estabilização do processo. Os valores de refugo considerados aquando desta análise coincidiram com a troca do molde da máquina. Como o molde já foi intervencionado algumas vezes, algumas das embalagens apresentavam bastante deformação, o que contribuiu para o aumento do refugo desta referência. Se não considerarmos os valores do refugo referentes a embalagens deformadas, vemos a percentagem de embalagens não conformes desta referência baixar de 0,65% para aproximadamente 0,20%. Já a referência B, é uma referência que apresenta uma produção contínua, tendo sido recolhidos dados referentes a vários dias de produção, o que nos leva a afirmar que esta é efetivamente a referência com maior contribuição para o refugo.

Uma vez que se tinha concluído que o defeito que aparecia com maior frequência estava relacionado com etiquetas descentradas, fez-se uma análise a este defeito por referência, tendo-se obtido o gráfico representado na figura 6.3. Este permite identificar a referência mais problemática com base na percentagem de embalagens com etiqueta descentrada.

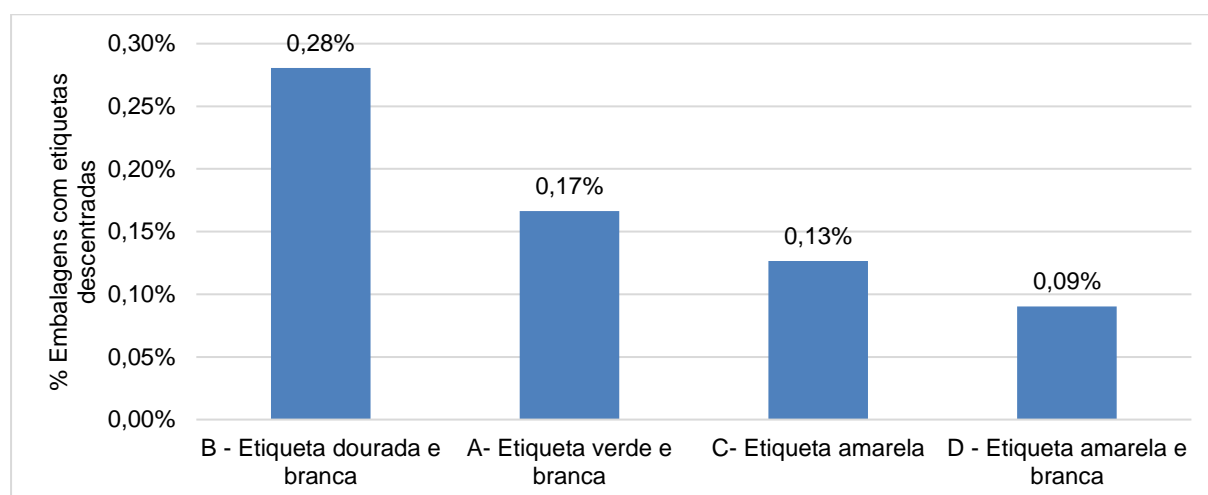


Figura 6.3 - Percentagem de embalagens com etiqueta descentrada por referência

6.3. Especificações das etiquetas

Nesta secção pretende-se avaliar se as dimensões, o estiramento e o peso médio das etiquetas são uniformes entre as várias referências e dentro do mesmo lote. Para tal recolheram-se dados diariamente com o intuito de avaliar possíveis tendências.

As etiquetas são produzidas num filme e depois da impressão são cortadas. As fibras do filme possuem um dado sentido, e podemos inferir sobre o sentido se aplicarmos duas forças de sentido contrário nas etiquetas. Se a etiqueta partir, sabemos que aplicamos as forças no

sentido contrário ao das fibras. O sentido de estiramento da etiqueta é relevante, uma vez que pode influenciar a incidência de deformações na embalagem.

Para verificar se as dimensões das etiquetas se encontram dentro dos tamanhos requeridos, procede-se à inspeção das etiquetas no dispositivo de controlo dimensional, onde se faz a comparação destas com o tamanho padrão. Concluiu-se que todas as etiquetas inspecionadas cumpriam com a especificação.

Ao analisar o estiramento da etiqueta verificou-se que este era sempre na vertical. Na figura 6.4 podemos observar como é feita a averiguação do sentido de estiramento.

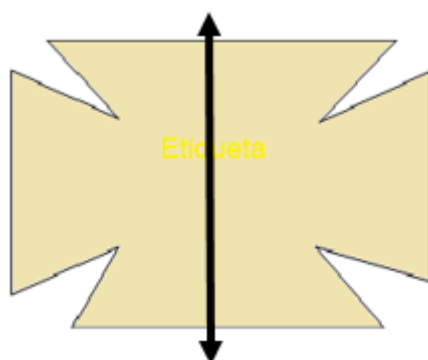


Figura 6.4 - Estiramento da etiqueta

Para o peso médio da etiqueta também foi possível detetar ligeiras variações. Com base na análise do peso, resultou o seguinte gráfico (figura 6.5).

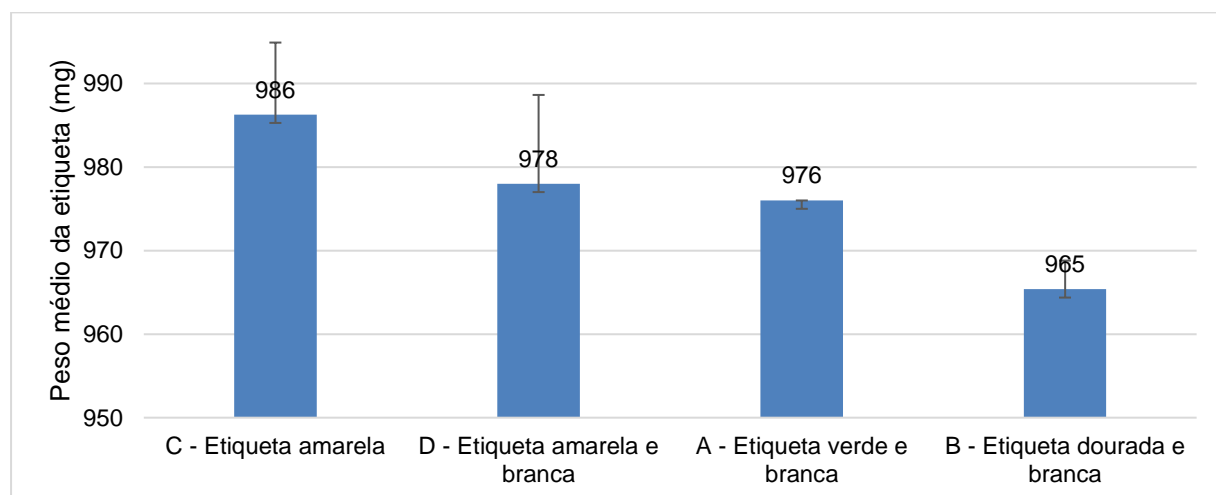


Figura 6.5 - Peso médio por referência

Com base na análise da especificação da etiqueta, chegamos à conclusão que as etiquetas de C e D são as que apresentam maiores valores do peso médio. A diferença de peso pode ser explicada pela quantidade de tinta que a etiqueta leva. Cada etiqueta é impressa num filme branco pelo que as etiquetas que apresentam peso superior são aquelas em que o

filme é todo coberto (C). Nas etiquetas B, a diferença está relacionada com o tipo de pigmento usado. Esta referência é a única que apresenta um pigmento metálico.

Todas as conclusões anteriores foram apresentadas em reunião ao fornecedor. Este confirmou que efetivamente o tipo de pigmento utilizado é diferente e que este pode originar diferentes comportamentos das etiquetas na máquina da injeção. Alguns exemplos disso são os ajustes que é necessário fazer ao tempo e intensidade da descarga de estática. E também, como as etiquetas são ligeiramente mais leves que as restantes referências, por vezes também é necessário ajustar o número e o tempo de picagem.

Capítulo 7 – Procedimento de correção de defeitos

Para cada defeito com que nos deparamos no dia-a-dia, é necessário elaborar uma lista das possíveis causas. Posto isto, devem-se listar os parâmetros que podem ser alterados para o corrigir e se o seu valor for alterado, observar o seu impacto. Caso se verifique que a alteração de um parâmetro não solucionou o nosso problema, deve ser resposto o seu valor para o valor de origem e prosseguir para o parâmetro que se segue na nossa lista. A solução de muitos dos defeitos observados resulta de uma convergência dos parâmetros da sala e da própria máquina/robot. Neste capítulo enumeram-se os parâmetros passíveis de alteração pelos operadores. As conclusões obtidas para as máquinas em questão, podem ser estendidas às restantes máquinas da fábrica.

Com base na informação presente neste capítulo irá ser elaborado um documento onde constam os parâmetros a considerar na correção de um dado defeito. Este documento irá permitir corrigir mais rapidamente uma situação de não conformidade, o que consequentemente se traduzirá numa diminuição do refugo da fábrica. Com a recolha diária dos parâmetros das máquinas 144 e 145 irá ser desenvolvido um histórico. Neste ficheiro irão constar os valores dos parâmetros nos dias em que se verificar menor refugo. Pretende-se com tal medida, constituir dados que sirvam de base para a correção de defeitos. Os dados obtidos foram disponibilizados à empresa.

Todos os diagramas que irei apresentar resultaram de reuniões de brainstorming. Para as embalagens com sobreposição de matérias-primas (V's) construiu-se o diagrama de Ishikawa da figura 7.1.

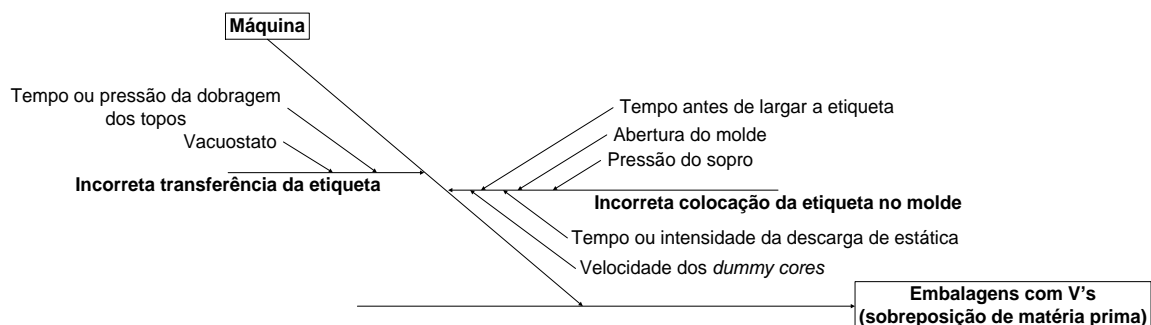


Figura 7.1 - Diagrama de Ishikawa para embalagens com V's

Assim, de acordo com o diagrama anterior, a incorreta dobração da etiqueta dentro do molde pode ser originada por uma ou mais das seguintes variáveis do processo:

- **Incorreta transferência da etiqueta para o *dummy core***

Pode ocorrer uma incorreta transferência da etiqueta do *pick-up label* para os *dummy cores* caso os valores do **tempo ou da pressão do ar da dobração** dos topos estejam desajustados.

Nesta fase da nossa avaliação, deve ainda ser verificado se o valor do **vacuostato** é adequado. Para etiquetas mais rígidas, o contacto entre a ventosa e a própria etiqueta é dificultado. Como existe passagem de ar, o vacuostato pode não atingir o valor definido originando a incorreta dobração dos topos e das laterais.

- **Incorreta colocação da etiqueta no molde**

O valor da **abertura do molde** deve ser apenas o suficiente para que ocorra a correta colocação da etiqueta. Se o molde estiver excessivamente aberto a etiqueta fica mal posicionada no molde. No caso de estar demasiado fechado, pode haver atrito entre a etiqueta e o próprio molde, levando ao arrastamento desta.

O **tempo antes de largar a etiqueta**, deve ser apenas o tempo necessário para que ocorra a estabilização da etiqueta dentro do molde.

Deve-se garantir que a **pressão do sopro** para libertar a etiqueta é suficiente para deixar a etiqueta dentro do molde. Se a pressão do sopro for desadequada, podem ocorrer falhas na dobração da etiqueta.

Quando a **intensidade ou tempo da descarga de estática** são excessivos, podem verificar-se situações em que a etiqueta irá ter tendência para se agarrar à outra extremidade do molde. No caso de ser insuficiente, quando o molde fecha pode haver movimentação da etiqueta.

A **velocidade dos *dummy cores*** deve ser a correta de forma a garantir que a etiqueta fica bem colocada no molde. Velocidades excessivas dos *dummy cores* podem arrastar as etiquetas no movimento de entrada ou saída do molde.

Quando nos deparamos com situações em que a etiqueta está descentrada devemos em primeiro lugar verificar qual a humidade da sala. Se esta for superior a 65%, em muitos casos, não se garante o correto posicionamento da etiqueta na embalagem. Em situações extremas é impossível prosseguir com a produção.

Para embalagens com etiqueta descentrada elaborou-se o seguinte diagrama de Ishikawa (figura 7.2).

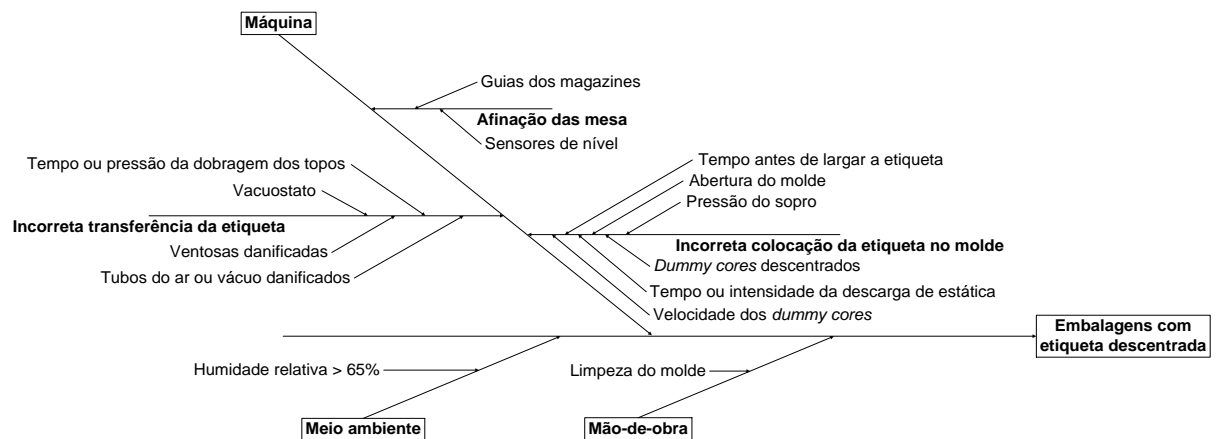


Figura 7.2 - Diagrama de Ishikawa para etiquetas descentradas

O aparecimento de embalagens com etiquetas descentradas pode dever-se à necessidade de afinação das mesas, a uma incorreta transferência da etiqueta ou colocação desta no molde. Podemos ainda chegar à conclusão que as etiquetas descentradas resultam de uma combinação destes fatores.

- **Afinação das mesas**

As mesas devem ser afinadas sempre que se verifique o desajuste das guias dos magazines. Uma simples mudança do produto pode levar a um ajuste das mesas.

Os sensores de nível de etiqueta determinam o ponto de paragem das etiquetas até serem recolhidas pelo *pick-up*. Se o sensor de nível estiver muito elevado pode ocorrer o descentramento das etiquetas, devido à pressão exercida pelo *pick-up*. Se estiver baixo, o *pick-up* pode não conseguir agarrar a etiqueta.

- **Incorreta transferência da etiqueta para o *dummy core***

Nesta etapa deve-se observar se existe alguma **ventosa, tubo de ar ou de vácuo danificados** que origine o incorreto posicionamento das etiquetas nos *dummy cores*. Perante uma situação destas, deve ser alertada a manutenção de imediato.

O valor do **vacuostato** deve ser o indicado, para garantir que a etiqueta não descai na transferência ou que a dobra é mal efetuada.

- **Incorreta colocação da etiqueta no molde**

A etiqueta pode ficar mal colocada dentro do molde se se verificarem casos de humidade relativa superiores a 65%. Se a humidade da sala estiver entre os valores ótimos, então a descentramento da etiqueta pode ser originada por um tempo ou intensidade da descarga de estática desadequada, uma incorreta transferência da etiqueta, uma abertura do molde

inadequada, uma velocidade dos *dummy cores* ou tempo antes de largar a etiqueta desajustados.

Caso se verifique que os **dummy cores estão descentrados**, deve ser alertada a manutenção. Esta situação irá provocar atrito entre as etiquetas e as zonas moldantes.

Uma **incorreta limpeza dos moldes** pode deixar vestígios de verniz ou humidade que vai dificultar a aderência das etiquetas.

Podem ocorrer situações esporádicas de embalagens com várias etiquetas. Na tentativa de perceção de quais as causas que contribuem para este problema, elaborou-se o seguinte diagrama de Ishikawa (figura 7.3).

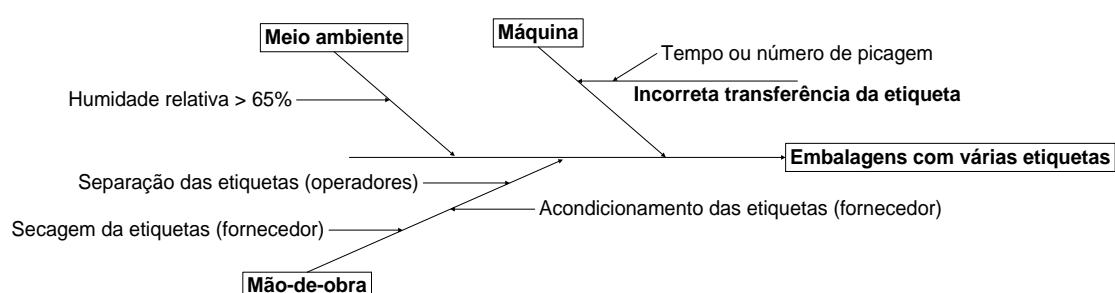


Figura 7.3 - Diagrama de Ishikawa para embalagens com várias etiquetas

A ocorrência deste defeito pode estar relacionada com a humidade da sala ser superior a 65% ou a uma má separação das etiquetas aquando da colocação dos dispensadores. Esta não conformidade pode ainda não estar relacionada com o próprio processo, mas sim com falhas na produção das etiquetas ou consequência de um mau acondicionamento destas.

Quando se procede ao arranque da máquina, as primeiras embalagens produzidas não possuem etiqueta porque é seleccionada uma opção para que tal não aconteça. Procede-se desta forma, porque existe matéria-prima dentro do cilindro de injeção que por acção do calor, durante o tempo de paragem irá degradar. Assim, não são gastas etiquetas desnecessariamente. Para este tipo de defeito também se desenvolveu um diagrama de Ishikawa (figura 7.4).

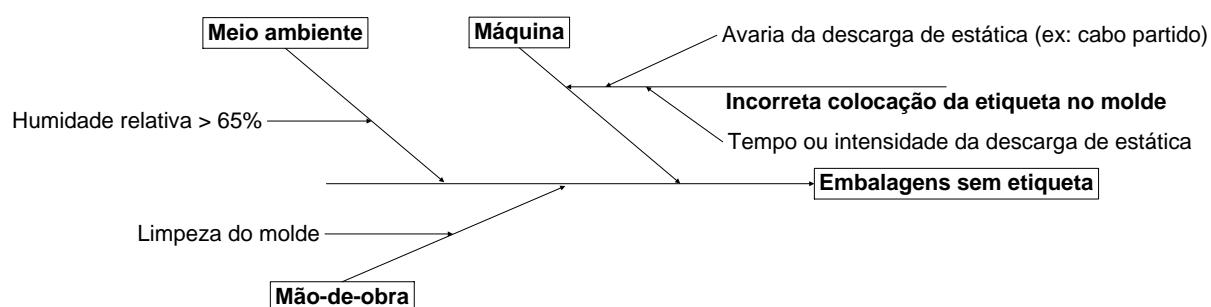


Figura 7.4 - Diagrama de Ishikawa para embalagens sem etiqueta

Existem vários factores que podem culminar neste tipo de defeito, por exemplo, se a descarga de estática foi insuficiente, a etiqueta não fica agarrada ao molde. Assim, quando o braço do *robot* sai das zonas moldantes a etiqueta pode cair. Se a descarga de estática foi excessiva, a etiqueta pode ficar agarrada ao *dummy core* e sair do molde com este.

Uma situação extrema seria a avaria da descarga elétrica, pelo que perante esta situação deve ser alertada a manutenção.

Assim, chegamos à conclusão que para uma correta colocação da etiqueta na embalagem, é necessária a convergência de vários fatores.

Embora os próximos defeitos não sejam do âmbito da presente dissertação, mas como se pretendem operar sempre com a menor produção de refugo são apresentados os procedimentos de correção destes. Para embalagens incompletas desenvolveu-se o diagrama da figura 7.5.

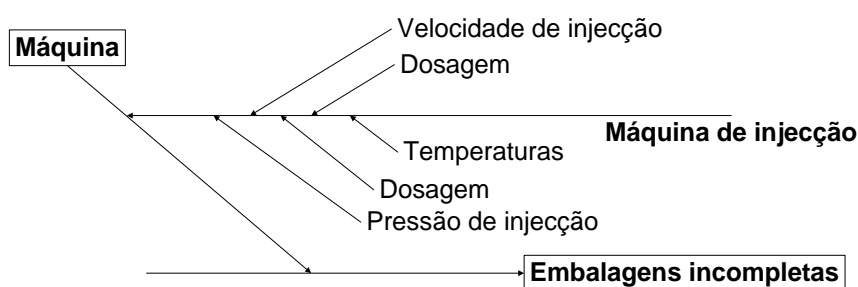


Figura 7.5 - Diagrama de Ishikawa para embalagens incompletas

Sendo assim, para corrigir estes defeitos devem ser averiguadas as seguintes causas:

- **Dosagem**

Se a dosagem for insuficiente, a peça não irá ficar completamente preenchida.

- **Velocidade de injeção desajustada**

A velocidade de injeção deve ser a adequada para garantir que o material não apresenta dificuldade no preenchimento das cavidades. Por exemplo, se se verificar que a velocidade de injeção é baixa, pode ocorrer a solidificação do material antes de este ter preenchido totalmente as cavidades.

- **Força de fecho do molde desajusta**

A força de fecho do molde deve ser apenas a necessária para garantir que este fica fechado na posição correta. Caso se verifique que as duas partes do molde estão a exercer uma

pressão excessiva, pode ocorrer uma distribuição desigual da massa fundida dentro de cada cavidade.

- **Temperaturas desajustadas**

A temperatura de cada uma das zonas moldantes deve ser semelhante para garantir que o escoamento da matéria-prima é feito de igual forma. Em situações em que já existe um desgaste dos moldes ou dos canais de escoamento, as temperaturas devem ser ajustadas de forma a facilitar o escoamento da matéria-prima para a cavidade que produz embalagens incompletas.

- **Pressão de injeção desajustada**

A pressão de injeção deve ser a suficiente para obrigar o material fluido a encher as cavidades. Caso se verifiquem pressões de injeção insuficientes, podemos não garantir o total enchimento da peça.

As rebarbas (excesso de material) constituem a situação contrária. A correção deste defeito assenta na investigação das causas descritas no diagrama de Ishikawa da figura 7.6.

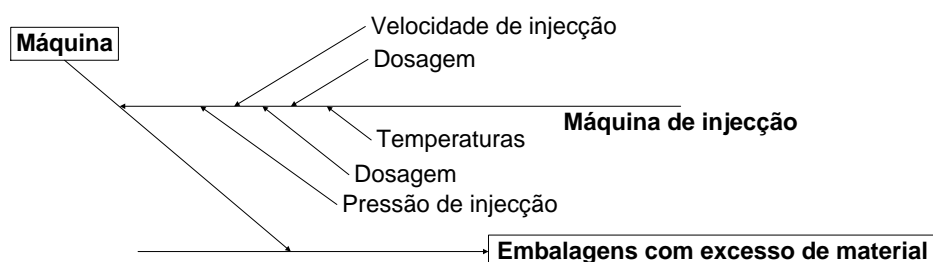


Figura 7.6 - Diagrama de Ishikawa para embalagens com excesso de material

Deve-se avaliar:

- **Dosagem excessiva**

Se a dosagem do material for excessiva, irá haver tendência para a formação de embalagens com excesso de material no plano de junta (união das duas partes do molde). Em situações extremas, se a dosagem for bastante superior ao suportado, pode ocorrer o descentramento das cavidades.

- **Velocidade de injeção desajusta**

Se a velocidade de injeção for excessiva, como o material ainda se encontra fluido, pode ocorrer a formação de rebarbas.

- **Força de fecho do molde desajustada**

Se a força de fecho do molde for insuficiente, irá existir, mesmo que reduzida, uma folga entre as duas extremidades, ocorrendo assim a passagem de material para fora da cavidade.

- **Temperaturas desajustadas**

As temperaturas devem ser ajustadas para garantir um igual escoamento. Se a temperatura for excessiva, por exemplo numa das zonas moldantes, o material nessa cavidade irá estar mais fluido propiciando a formação de rebarbas.

- **Pressão de injeção desajusta**

Tal como mencionado no efeito anterior, a pressão deve ser apenas a suficiente para que a peça fique completa. Caso esta seja excessiva, poderá ocorrer a formação de rebarbas, e num caso extremo, a descentramento do molde.

Quando se verifica a presença de embalagens deformadas devem ser tidos em conta os parâmetros que se encontram disponíveis no diagrama da figura 7.7.

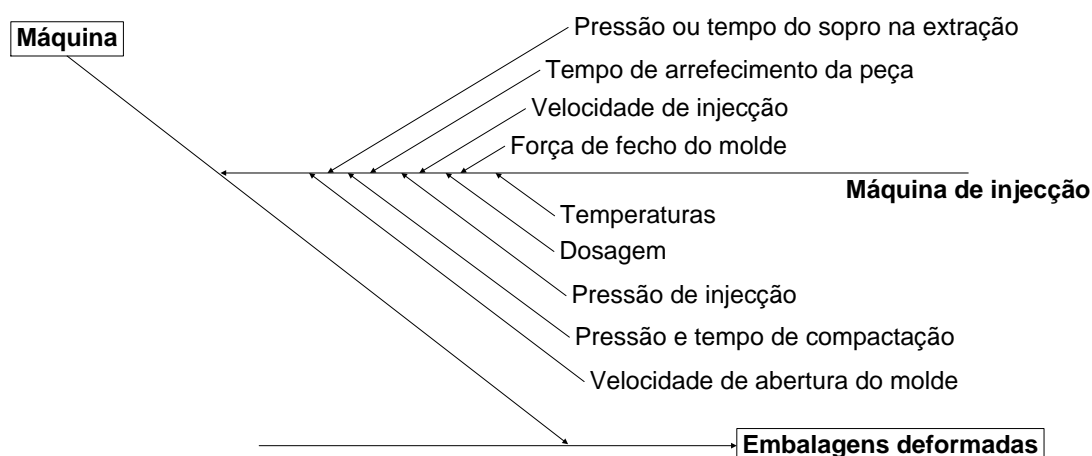


Figura 7.7 - Diagrama de Ishikawa para embalagens deformadas

Sendo assim, deve-se verificar as seguintes possíveis causas:

- **Força de fecho de molde desajusta**

A força deve ser apenas a suficiente para garantir que o molde se encontra fechado durante todo o período da injeção, sem que ocorra deformação das peças.

- **Dosagem excessiva**

Se a dosagem for excessiva é introduzida uma maior quantidade de material dentro do molde pelo que tem que haver um rearranjo das cadeias do polímero de forma a que se consiga acomodar mais material no mesmo espaço.

- **Pressão de injeção desajustada**

Se, por exemplo, a pressão de injeção for excessiva sucede-se o que foi descrito no parágrafo anterior.

- **Temperaturas desajustadas**

Se as temperaturas estiverem elevadas, o material irá encontrar-se num estado mais fluido, pelo que irá ocorrer uma maior introdução deste nas zonas moldantes, podendo originar a deformação das peças.

- **Tempo de arrefecimento da peça insuficiente**

Caso o tempo de arrefecimento seja insuficiente, pode não ocorrer a total solidificação da peça, pelo que esta fica num estado maleável. Sendo assim, aquando da extração pode ocorrer a sua deformação.

- **Pressão ou tempo de compactação desajustados**

Se a peça estiver a compactar durante mais tempo do que é necessário ou se a pressão for excessiva, as cadeias do polímero sofrem uma modificação do sentido e originam-se peças deformadas.

- **Pressão ou tempo do sopro na extração desajustados**

A pressão e o tempo do sopro devem apresentar valores que permitam efetuar a extração da peça e a sua passagem para a parte contrária do molde sem que ocorra a sua deformação. Caso se verifique que o tempo ou pressão do sopro é insuficiente, podemos não conseguir garantir a extração da embalagem.

- **Velocidade de abertura do molde desajustada**

Caso se verifique que a velocidade de abertura do molde é excessiva, pode ser exercido um efeito de sucção da peça, que poderá originar a sua deformação.

As embalagens que apresentam zonas com matéria-prima escurecida resultam de um tempo de paragem longo da máquina. A matéria-prima esteve sujeita a temperaturas elevadas durante algum tempo o que originou a sua deterioração.

O gito consiste num fio de matéria-prima na zona do ponto de injeção. Perante esta situação ajustam-se os parâmetros da válvula *gate*, nomeadamente o atraso a abrir e fechar a válvula. Esta válvula encontra-se no interior do bico de injeção, abre durante a injeção e fecha no final da mesma. Para corrigir este defeito é necessário ajustar o instante em que a válvula abre e fecha.

Os pontos pretos presentes nas embalagens podem ser impurezas da própria matéria-prima ou fragmentos de PP que já foram sujeitos a vários ciclos de aquecimento dentro do carro de injeção. Perante esta situação, devem ser segregadas todas as embalagens e deve-se proceder à limpeza do canhão.

Capítulo 8 - Problema das etiquetas coladas

8.1. Avaliação do problema

Existem lotes de etiquetas que apresentam problemas de etiquetas coladas. Esta situação foi comunicada ao fornecedor e realizou-se uma reunião com o intuito de listar os fatores que contribuem para este problema. Chegou-se à conclusão que algumas das possíveis causas seriam:

- Tipo de tinta e verniz utilizados;
- Parâmetros da secagem;
- Transporte até ao cliente (condições ambientais e o tipo de acondicionamento);
- Fatores ambientais (humidade relativa e temperatura).

Uma vez que não sabemos qual o tipo de tinta e verniz utilizados na produção das etiquetas não podemos inferir sobre este tópico da lista anterior. Em relação aos parâmetros de secagem, o fornecedor confirmou-nos que os tempos se encontram dentro dos requeridos, pelo que este elimina a hipótese dos tempos de secagem insuficientes.

De forma a verificar as variações de temperatura e humidade durante o transporte das etiquetas desde a fábrica onde são produzidas até às instalações da Logoplaste, o fornecedor coloca *Data Loggers* dentro das caixas. Durante este período (de 15 de abril a 9 de maio de 2016) não foram detetadas leituras anormais. Este foi repetido, mas até ao final da presente dissertação não foi possível ter acesso aos dados.

Ainda assim, face às evidências recolhidas na fábrica, pensa-se que por vezes possam ocorrer anomalias nos parâmetros de secagem das etiquetas. Existem lotes de etiquetas que são sujeitos às mesmas condições de armazenagem e transporte que não apresentam anomalias, e existem outros lotes que são totalmente devolvidos ao fornecedor, uma vez que se torna impossível produzir com eles.

Pensa-se que o tipo de acondicionamento das etiquetas também propicia a ocorrência de etiquetas coladas (figura 8.1). No acondicionamento atual, a própria caixa das etiquetas não fecha totalmente. Assim, as etiquetas que se encontram na parte inferior da paleta é que

suportam todo o peso das restantes caixas. Se tiver ocorrido alguma anomalia na secagem das etiquetas no fornecedor ou variações bruscas das condições climáticas, surgem estes problemas.

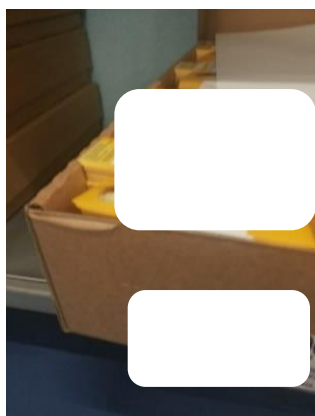


Figura 8.1– Acondicionamento atual

8.2.Possível solução para o problema

Uma vez que as questões relativas ao processo de produção das etiquetas dizem respeito ao fornecedor destas, existem algumas medidas que a Logoplaste pode adotar de forma a investigar ponto a ponto cada uma das possíveis causas. Assim, solicitou-se ao fornecedor que fosse alterada a forma de acondicionamento das etiquetas. No novo acondicionamento, uma vez que as caixas não vêm totalmente cheias com as etiquetas, o peso passa a ser suportado pelas paredes das caixas.

Testou-se esta nova forma de acondicionamento com o formato de 250 g (figura 8.2). Os resultados do novo acondicionamento foram significativos, isto é, as etiquetas apresentaram um bom comportamento em máquina e não se detetaram etiquetas coladas. Face a estes resultados, solicitou a extensão do novo acondicionamento a todas as referências da fábrica. O fornecedor não concordou com a alteração em questão, uma vez que afirma que esta propícia o *curling* (fenómeno em que existe perda de planicidade das etiquetas).



Figura 8.2 - Novo acondicionamento

De forma a evitar que haja passagem de humidade para o interior das caixas, solicitou-se a introdução de um saco de plástico a envolver as etiquetas. Já existiam suspeitas da afinidade das etiquetas para a água, mas com a realização da medição dos ângulos de contacto e da determinação da tensão interfacial sólido-vapor, confirmou-se esse facto. Todos os desenvolvimentos relativos a este tema encontram-se disponíveis no anexo IV.

Para a realização do teste marcaram-se três zonas distintas nas etiquetas (Figura 8.3).

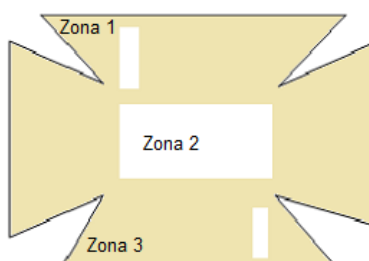


Figura 8.3 - Zonas de leitura dos ângulos de contacto

As zonas que apresentam maior densidade de pigmento são as zonas 1 e 3. Na zona 2 encontra-se descrita a informação nutricional e os ingredientes.

Para determinação do valor da tensão interfacial sólido-vapor foi necessário retirar o valor da tensão interfacial líquido-vapor da água (tabela 8.1) de um artigo relativo ao tema em questão (Kwok D. Y., 1998). Considerou-se a expressão 2.74 e recorreu-se ao *Solver* do *Excel*.

Tabela 8.1 - Valor da tensão interfacial líquido-vapor da água

Líquido de teste	$\gamma_{lv}(\text{mJ/m}^2)$
Água	72,70

Realizou-se o teste para as etiquetas A e B, tendo-se obtido os valores das tabelas 8.2 e 8.3.

Tabela 8.2 – Resultados do teste (Etiqueta A – Etiqueta verde e branca)

Zona	Média dos ângulos de contacto (°)	$\gamma_{sv}(\text{mJ/m}^2)$
1	84	5,70
2	76	62,18
3	82	119,61
Média	81	-

Tabela 8.3 – Resultados do teste (Etiqueta B – Etiqueta dourada e branca)

Zona	Média dos ângulos de contacto (°)	$\gamma_{sv}(\text{mJ/m}^2)$
1	95	57,59
2	72	0,073
3	69	72,22

Média (°)	78	-
------------------	-----------	---

As etiquetas são efetivamente hidrofílicas ($\theta < 90^\circ$), sendo as etiquetas B mais hidrofílicas que as A. Para a referência A, nas zonas com maior densidade de pigmento (zonas 1 e 3) o valor do ângulo de contacto é superior, podendo afirmar que nestas zonas a etiqueta apresenta menor afinidade para a água. No caso da referência B, a zona que é claramente menos hidrofílica é a zona 1. As zonas 2 e 3 apresentam gamas do valor médio do ângulo de contacto semelhantes.

A introdução do saco dentro da caixa das etiquetas não apresentou melhorias, uma vez que ainda foi possível detetar etiquetas coladas no seu interior

É de salientar que as etiquetas passam por um processo de estabilização antes de se iniciar a produção com estas, ou seja, são colocadas na sala de produção que possui um ambiente com humidade e temperatura controladas 24 horas antes de serem utilizadas. Mas o tempo que as etiquetas se encontram em armazém, que pode ser dias ou mesmo semanas, pode contribuir para o aparecimento de etiquetas coladas, uma vez que o armazém não possui um ambiente controlado. Neste momento está a estudar-se a hipótese de se possuir um armazém com temperatura e humidade controladas.

Até ao final da presente dissertação não se chegou à conclusão de qual seria a principal causa para a ocorrência deste tipo de situações. Existem algumas medidas que o fornecedor pretende devolver, tais como fazer simulações com diferentes condições ambientais, parâmetros de secagem, fornos de secagem e com outros tipos de acondicionamento.

Capítulo 9 - Conclusões

Como mencionado em capítulos anteriores, o controlo do processo de IML é de extrema importância, uma vez que permite manter o processo dentro das especificações pretendidas e para além disso, um processo controlado é mais eficiente. Devido à complexidade e elevada variabilidade do processo (inúmeras variáveis do processo e sucessivas mudanças de lotes de matéria-prima), não foi possível propor cartas de controlo para os pesos das embalagens produzidas na fábrica, uma vez que o processo não se encontra sob controlo estatístico.

Quando se pretende produzir outro produto, uma vez que as etiquetas são semelhantes em dimensões e espessura, à partida não deveria ser necessário haver ajustes nos parâmetros do processo. Os operadores deparam-se com situações em que dentro do mesmo lote, é necessário afinar o processo. A correção desses valores para um valor adequado, e que minimize o refugo produzido, vai da experiência dos próprios operadores.

Face aos resultados obtidos da análise do refugo com etiqueta chegou-se à conclusão que a referência que apresenta uma maior contribuição para o refugo é a referência dourada (etiquetas B). A explicação destes resultados reside no facto de o tipo de pigmento utilizado nesta referência ser diferente e do peso destas etiquetas ser inferior ao das restantes referências, originando assim diferentes comportamentos em máquina, levando a um aumento do refugo desta referência.

Da análise aos principais defeitos concluiu-se que a maior contribuição estava relacionada com etiquetas descentradas e a existência de etiquetas coladas. Estes dois tipos de defeitos, contabilizavam em conjunto aproximadamente 63% do total. Para o primeiro problema, e para todas as outras situações de não conformidade, desenvolveu-se um conjunto de ações que o eliminam ou minimizam, mas no caso das etiquetas coladas, até à data não foi possível corrigir tal situação. O ficheiro dos parâmetros a ter em consideração na correção de um defeito foi disponibilizado à produção em meados de dezembro.

No gráfico da figura 9.1 encontra-se a análise do refugo da fábrica desde dezembro a fevereiro. O valor médio obtido para os meses após a disponibilização do ficheiro é de 0,49 %. Relembro que a meta era os 0,48%, mas uma vez que a diferença é mínima podemos afirmar que o objetivo apontado inicialmente foi cumprido.

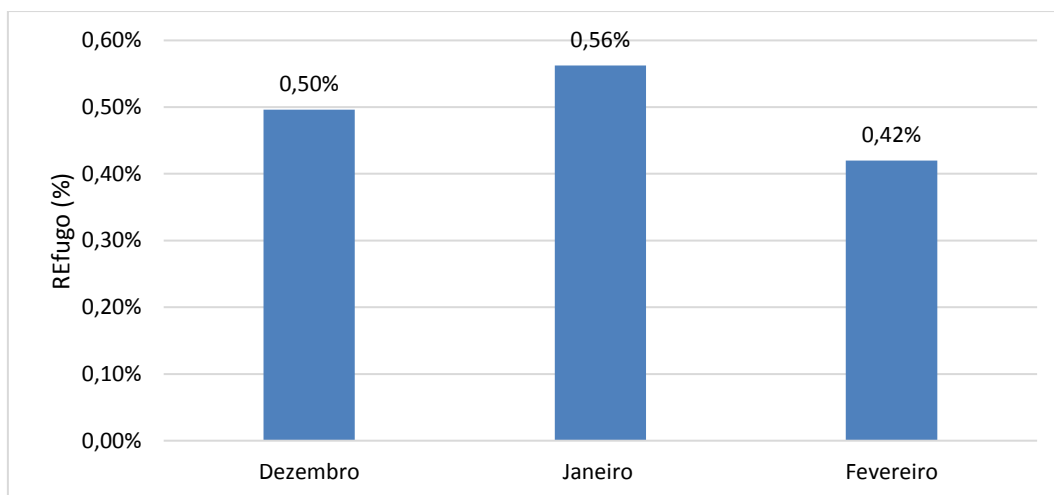









Figura 9.1 - Análise do refugo

O refugo zero é impossível, porque bastam pequenas oscilações para que ocorra uma situação de não conformidade. Existem situações externas ao próprio funcionamento da máquina, mas que afetam a sua prestação, tais como a humidade e a temperatura, ou até mesmo o lote das matérias-primas. Normalmente, quando se inicia a produção com outro lote de PP é necessário ajustar o processo. Tais ajustes estão relacionados com a variação dos índices de fluidez dos lotes, o que provoca por vezes casos de embalagens incompletas ou com excesso de material.

Na tabela 9.1 encontram-se resumidos os objetivos apontados no início da dissertação.

Tabela 9.1 - Tabela de verificação dos objetivos

Objetivo	Ação	Impacto
Construção de cartas de controlo para as máquinas da fábrica	-	 <p>Não foi possível propor cartas de controlo, uma vez que o processo não se encontra sob controlo estatístico.</p>
Comparação entre as duas máquinas	-	 <p>Não existe evidência estatística que permita afirmar que as duas máquinas são diferentes.</p>

<p>Identificação da referência com maior contribuição para o refugo total</p> <p>Identificar as razões para as diferenças nos pesos/refugo das várias referências</p>	<p>Reunir com o fornecedor de etiquetas e obter explicação para os resultados.</p>	<p></p> <p>Confirmação que o tipo de pigmento é diferente.</p>
<p>Identificar os parâmetros a ajustar na correção de defeitos</p>	<p>Desenvolvimento de histórico de parâmetros do processo</p>	<p></p> <p>O ficheiro foi fornecido aos operadores.</p>
<p>Desenvolver ficheiro de apoio à correção das não conformidades.</p>	<p>-</p>	<p></p> <p>Os ficheiros foram fornecidos à empresa e obtiveram-se resultados significativos.</p>
<p>Diminuir o refugo da fábrica em 20%</p>	<p>-</p>	<p></p> <p>Com o desenvolvimento do ficheiro de correção de defeitos, foi possível diminuir o refugo a fábrica.</p>
<p>Redução do número de etiquetas coladas</p>	<p>Alterar a forma de acondicionamento das etiquetas</p>	<p></p> <p>Procedeu-se à alteração do acondicionamento, mas os resultados não foram positivos.</p>

Futuramente, deverá ser efetuado um estudo de avaliação económica à viabilidade da aquisição de medidores e controladores de fluxo de ar para que seja possível ter um controlo mais eficiente do ar utilizado na transferência das etiquetas. Ainda segundo a perspetiva económica, deverá ser realizado um estudo sobre a possibilidade de aquisição de uma sala com ambiente controlado para armazenagem das etiquetas.

Uma vez que o marketing irá alterar todas as etiquetas utilizadas nas máquinas que foram alvo do estudo, deverá ser realizado um novo estudo, de forma a identificar a referência que apresenta maior contribuição para o refugo e desenvolver um novo histórico de parâmetros da máquina.

Capítulo 10 - Referências Bibliográficas

- Abdallah, W. (2007). *Fundamentals of Wettability*.
- Bartolucci, A. A. (2016). *Introduction to Statistical Analysis of Laboratory Data*. Alabama, USA: Wiley.
- Bass, I. (2007). *Six Sigma Statistics with Excel and Minitab*. USA: Mc Graw Hill.
- Bhote, K. R. (2003). *The Power of Ultimate Six Sigma*. United States of America: American Management Association.
- CEP, V. D. (2006). *Controlo estatístico do processo*. Obtido de <http://www.datalyzer.com.br/site/suporte/administrador/docs/arquivos/doc57/57.html>; Consultado a 10-10-2016
- Faria, C. (2006-2016). *Infopédia*. Obtido de História da Qualidade: http://www.infoescola.com/administracao_/historia-da-qualidade/ Consultado a 24-10-2016
- Feigenbaum, A. V. (1991). *Controle de qualidade total - gestão e sistemas Volume I*. São Paulo: MAKRON Books do Brasil Editora Ltda.
- Ferreira, J. P. (2013). *Tensão superficial - sua natureza e efeitos*. Obtido de Sociedade Portuguesa de Química: <http://www.spq.pt/magazines/BSPQ/618/article/30001960/pdf>; Consultado a 20-01-2017
- Gedjos, P. (2015). Continuous Quality Improvement by Statistical Process Control. *Procedia Economics and Finance*, 565-572.
- Godfrey, A. (2001). *Modern Methods For Quality Control And Improvement*. USA: John Wiley and Sons, Ltd.
- Gordon, M. (2010). *Total Quality Process Control For Injection Molding*. John Wiley and Sons, Ltd.
- Juran, J. M. (1998). *Juran's Quality Handbook*. McGraw-Hill.
- Kwok. (1998). Dynamic contact angles and solid surface tensions. *Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Toronto*, 2039-2051.
- Kwok, D. Y. (1998). Low-rate dynamic contact angles. *Macromolecular Chemistry and Physics*, pp. 1121-1133.
- Larson, A. (2003). *Demystifying Six Sigma*. Broadway, NY: AMACOM.
- Logoplaste. (2016). *Logoplaste Timeline*. Obtido de <http://www.logoplaste.com/en/timeline/1/4/timeline>; Consultado a 19-09-2016

- Menda, M. (2011). *Química Viva - Plásticos*. Obtido de http://www.crq4.org.br/quimicaviva_plasticos; Consultado a 24-10-2016
- Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control*. Arizona State University: John Wiley & Sons, Inc.
- Muir, A. (2006). *Lean Six Sigma Statistics*. Alberta, Canada: McGraw Hill.
- Pochampally, K. K. (2014). *Six Sigma Case Studies With Minitab*. Flórida: CRC Press.
- Quesenberry, C. P. (1991). SPC Q Charts for start-up processes and short or long runs. *Journal of quality technology*.
- Requeijo, J. (2012). *Planeamento e Controlo Estatístico do Processo*. Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa.
- S.Kenett, R. (2014). *Modern Industrial Statistics*. United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd.
- Soares, T. (2014). *Prezi - Os polímeros na indústria alimentar*. Obtido de <https://prezi.com/q5b09ahx1u4c/os-polimeros-na-industria-alimenticia-sao-importantes-pois-e/>; Consultado a 09-09-2016
- Tavana, H. (2 de Maio de 2005). Interpretation of contact angle measurements on two different fluoropolymers for the determination of solid surface tension. *Journal of Colloid and Interface Science*.
- Xie, M. (2002). *Statistical Models And Control Charts For High Quality Processes*. Guangzhou: Kluwer Academic Publishers.

Anexo I – Cronograma

Anexo II – Diagrama de objetivos

Anexo III – Relação entre a dosagem da máquina e o índice de fluidez da matéria-prima principal

Anexo IV – Tabela do Qui-Quadrado

Anexo V – Tabela para determinação do Dcrítico

Anexo VI – Tabela para construção das cartas de controlo

Anexo VII – Passos intermédios da construção das cartas de controlo

Anexo VIII – Tabela da Normal reduzida

Anexo IX – Tabela do *t-Student*

Anexo X – Tabela da distribuição de Fisher

Anexo XI – Medição de ângulos de contacto

I. Cronograma

Cronograma	Mês	Setembro					Outubro					Novembro				Dezembro				Janeiro					Fevereiro					Março		
	Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
	Dia	1	5	12	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19	26	2	9	16	23	30	6	13	20	27	6	13	20	
Actividades																																
Definir																																
Conhecimento das instalações																																
Conhecimento dos procedimentos da qualidade																																
Definição do tema de estudo																																
Conhecimento do processo																																
Plano de trabalhos																																
Preparação para recolha de dados																																
Recolha de dados do histórico da fábrica																																
Recolha de dados																																
Realização do teste às várias referências																																
Análise																																
Tratamento de dados																																
Análise de resultados																																
Aplicação das possíveis soluções de melhoria																																
Proposta de melhoria																																
Verificação das conclusões																																

Figura I.1 - Cronograma

II. Diagrama de objetivos

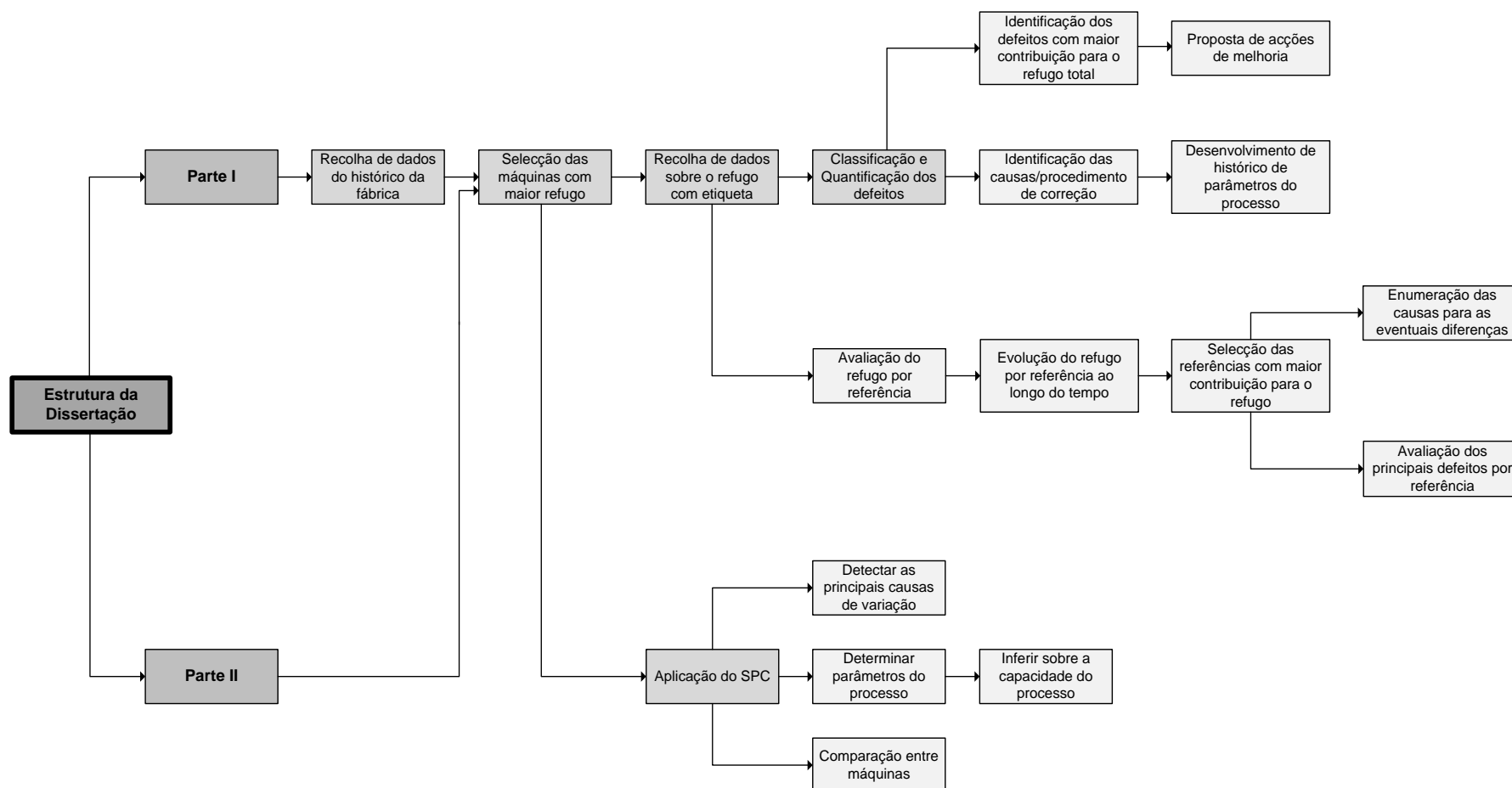


Figura II.1 - Diagrama de objetivos

III. Relação entre a dosagem da máquina e o índice de fluidez da matéria-prima principal

Foi representada a dosagem da máquina em função do índice de fluidez, de forma a verificar se existe alguma relação entre as duas variáveis (figura III.1). Chegou-se à conclusão que existe uma correlação positiva, ou seja, com o aumento do índice de fluidez, os operadores aumentam a dosagem da máquina.

Esta situação é o inverso do que realmente deveria ser feito. Então, se o índice de fluidez é superior, a matéria-prima tem mais facilidade em escoar. Sendo assim, não se deveria aumentar a dosagem da máquina, e aproveitar o facto de a matéria-prima ter mais facilidade em escoar para se diminuir as temperaturas do processo.

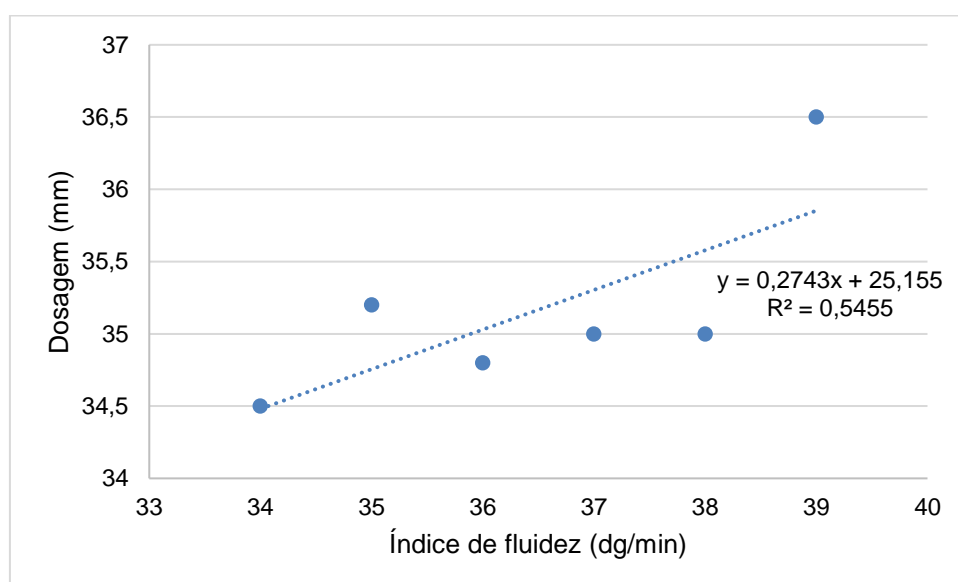


Figura III.1 - Dosagem vs índice de fluidez

IV. Tabela do Qui-quadrado

v	α												
	99,5%	99%	97,5%	95%	90%	75%	50%	25%	10%	5%	2,5%	1%	0,5%
1	0,00004	0,0002	0,001	0,004	0,016	0,102	0,455	1,323	2,706	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,010	0,020	0,051	0,103	0,211	0,575	1,386	2,773	4,605	5,991	7,378	9,210	10,60
3	0,072	0,115	0,216	0,352	0,584	1,213	2,366	4,108	6,251	7,815	9,348	11,34	12,84
4	0,207	0,297	0,484	0,711	1,064	1,923	3,357	5,385	7,779	9,488	11,14	13,28	14,86
5	0,412	0,554	0,831	1,145	1,610	2,675	4,351	6,626	9,236	11,07	12,83	15,09	16,75
6	0,676	0,872	1,237	1,635	2,204	3,455	5,348	7,841	10,64	12,59	14,45	16,81	18,55
7	0,989	1,239	1,690	2,167	2,833	4,255	6,346	9,037	12,02	14,07	16,01	18,48	20,28
8	1,344	1,646	2,180	2,733	3,490	5,071	7,344	10,22	13,36	15,51	17,53	20,09	21,95
9	1,735	2,088	2,700	3,325	4,168	5,899	8,343	11,39	14,68	16,92	19,02	21,67	23,59
10	2,156	2,558	3,247	3,940	4,865	6,737	9,342	12,55	15,99	18,31	20,48	23,21	25,19
11	2,603	3,053	3,816	4,575	5,578	7,584	10,34	13,70	17,28	19,68	21,92	24,72	26,76
12	3,074	3,571	4,404	5,226	6,304	8,438	11,34	14,85	18,55	21,03	23,34	26,22	28,30
13	3,565	4,107	5,009	5,892	7,042	9,299	12,34	15,98	19,81	22,36	24,74	27,69	29,82
14	4,075	4,660	5,629	6,571	7,790	10,17	13,34	17,12	21,06	23,68	26,12	29,14	31,32
15	4,601	5,229	6,262	7,261	8,547	11,04	14,34	18,25	22,31	25,00	27,49	30,58	32,80
16	5,142	5,812	6,908	7,962	9,312	11,91	15,34	19,37	23,54	26,30	28,85	32,00	34,27
17	5,697	6,408	7,564	8,672	10,09	12,79	16,34	20,49	24,77	27,59	30,19	33,41	35,72
18	6,265	7,015	8,231	9,390	10,86	13,68	17,34	21,60	25,99	28,87	31,53	34,81	37,16
19	6,844	7,633	8,907	10,12	11,65	14,56	18,34	22,72	27,20	30,14	32,85	36,19	38,58
20	7,434	8,260	9,591	10,85	12,44	15,45	19,34	23,83	28,41	31,41	34,17	37,57	40,00
21	8,034	8,897	10,28	11,59	13,24	16,34	20,34	24,93	29,62	32,67	35,48	38,93	41,40
22	8,643	9,542	10,98	12,34	14,04	17,24	21,34	26,04	30,81	33,92	36,78	40,29	42,80
23	9,260	10,20	11,69	13,09	14,85	18,14	22,34	27,14	32,01	35,17	38,08	41,64	44,18
24	9,886	10,86	12,40	13,85	15,66	19,04	23,34	28,24	33,20	36,42	39,36	42,98	45,56
25	10,52	11,52	13,12	14,61	16,47	19,94	24,34	29,34	34,38	37,65	40,65	44,31	46,93
26	11,16	12,20	13,84	15,38	17,29	20,84	25,34	30,43	35,56	38,89	41,92	45,64	48,29
27	11,81	12,88	14,57	16,15	18,11	21,75	26,34	31,53	36,74	40,11	43,19	46,96	49,64
28	12,46	13,56	15,31	16,93	18,94	22,66	27,34	32,62	37,92	41,34	44,46	48,28	50,99
29	13,12	14,26	16,05	17,71	19,77	23,57	28,34	33,71	39,09	42,56	45,72	49,59	52,34
30	13,79	14,95	16,79	18,49	20,60	24,48	29,34	34,80	40,26	43,77	46,98	50,89	53,67
35	17,19	18,51	20,57	22,47	24,80	29,05	34,34	40,22	46,06	49,80	53,20	57,34	60,27
40	20,71	22,16	24,43	26,51	29,05	33,66	39,34	45,62	51,81	55,76	59,34	63,69	66,77
45	24,31	25,90	28,37	30,61	33,35	38,29	44,34	50,98	57,51	61,66	65,41	69,96	73,17
50	27,99	29,71	32,36	34,76	37,69	42,94	49,33	56,33	63,17	67,50	71,42	76,15	79,49
60	35,53	37,48	40,48	43,19	46,46	52,29	59,33	66,98	74,40	79,08	83,30	88,38	91,95
70	43,28	45,44	48,76	51,74	55,33	61,70	69,33	77,58	85,53	90,53	95,02	100,4	104,2
80	51,17	53,54	57,15	60,39	64,28	71,14	79,33	88,13	96,58	101,9	106,6	112,3	116,3
90	59,20	61,75	65,65	69,13	73,29	80,62	89,33	98,65	107,6	113,1	118,1	124,1	128,3
100	67,33	70,06	74,22	77,93	82,36	90,13	99,33	109,1	118,5	124,3	129,6	135,8	140,2
150	109,1	112,7	118,0	122,7	128,3	138,0	149,3	161,3	172,6	179,6	185,8	193,2	198,4
200	152,2	156,4	162,7	168,3	174,8	186,2	199,3	213,1	226,0	234,0	241,1	249,4	255,3
300	240,7	246,0	253,9	260,9	269,1	283,1	299,3	316,1	331,8	341,4	349,9	359,9	366,8
500	422,3	429,4	439,9	449,1	459,9	478,3	499,3	521,0	540,9	553,1	563,9	576,5	585,2
750	654,0	662,9	676,0	687,5	700,8	723,5	749,3	775,7	800,0	814,8	827,8	843,0	853,5

$$S(x) = 1 - F(x) = P(X > x)$$

Figura IV.1 - Distribuição do Qui-quadrado; adaptado de Requeijo (2012)

V. Tabela para determinação do Dcrítico

n	α				
	0,20	0,15	0,10	0,05	0,01
4	0,300	0,319	0,352	0,381	0,417
5	0,285	0,299	0,315	0,337	0,405
6	0,265	0,277	0,294	0,319	0,364
7	0,247	0,258	0,276	0,300	0,348
8	0,233	0,244	0,261	0,285	0,331
9	0,223	0,233	0,249	0,271	0,311
10	0,215	0,224	0,239	0,258	0,294
11	0,206	0,217	0,230	0,249	0,284
12	0,199	0,212	0,223	0,242	0,275
13	0,190	0,202	0,214	0,234	0,268
14	0,183	0,194	0,207	0,227	0,261
15	0,177	0,187	0,201	0,220	0,257
16	0,173	0,182	0,195	0,213	0,250
17	0,169	0,177	0,189	0,206	0,245
18	0,166	0,173	0,184	0,200	0,239
19	0,163	0,169	0,179	0,195	0,235
20	0,160	0,166	0,174	0,190	0,231
25	0,149	0,153	0,165	0,180	0,203
30	0,131	0,136	0,144	0,161	0,187
> 30	$\frac{0,736}{\sqrt{n}}$	$\frac{0,768}{\sqrt{n}}$	$\frac{0,805}{\sqrt{n}}$	$\frac{0,886}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,031}{\sqrt{n}}$

Adaptado de Hubert W. Lilliefors (1967), "On the Kolmogorov-Smirnov Test for Normality with Mean and Variance Unknown", *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 62, n.º 318, pp. 399-402.
 "Reprinted with permission from *The Journal of the American Statistical Association*. Copyright (1967) by The American Statistical Association. All rights reserved".

Figura V.1 - Tabela para determinação do Dcrítico; adaptado de Requeijo (2012)

VI. Tabela para construção das cartas de controlo

Dimensão Amostra <i>n</i>	Carta da Média			Carta do Desvios Padrão						Carta da Amplitudes				
	Factores Limites Controlo			Factores Linha Central		Factores para Limites de Controlo				Factores para Limites de Controlo				
	A	A ₂	A ₃	d ₂	c ₄	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	d ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄
2	2,121	1,881	2,659	1,128	0,7979	0	3,267	0	2,606	0,853	0	3,686	0	3,267
3	1,732	1,023	1,954	1,693	0,8862	0	2,568	0	2,276	0,888	0	4,358	0	2,574
4	1,500	0,729	1,628	2,059	0,9213	0	2,266	0	2,088	0,880	0	4,698	0	2,282
5	1,342	0,577	1,427	2,326	0,9400	0	2,089	0	1,964	0,864	0	4,918	0	2,114
6	1,225	0,483	1,287	2,534	0,9515	0,030	1,970	0,029	1,874	0,848	0	5,078	0	2,004
7	1,134	0,419	1,182	2,704	0,9594	0,118	1,882	0,113	1,806	0,833	0,204	5,204	0,076	1,924
8	1,061	0,373	1,099	2,847	0,9650	0,185	1,815	0,179	1,751	0,820	0,388	5,306	0,136	1,864
9	1,000	0,337	1,032	2,970	0,9693	0,239	1,761	0,232	1,707	0,808	0,547	5,393	0,184	1,816
10	0,949	0,308	0,975	3,078	0,9727	0,284	1,716	0,276	1,669	0,797	0,687	5,469	0,223	1,777
11	0,905	0,285	0,927	3,173	0,9754	0,321	1,679	0,313	1,637	0,787	0,811	5,535	0,256	1,744
12	0,866	0,266	0,886	3,258	0,9776	0,354	1,646	0,346	1,610	0,778	0,922	5,594	0,283	1,717
13	0,832	0,249	0,850	3,336	0,9794	0,382	1,618	0,374	1,585	0,770	1,025	5,647	0,307	1,693
14	0,802	0,235	0,817	3,407	0,9810	0,406	1,594	0,399	1,563	0,763	1,118	5,696	0,328	1,672
15	0,775	0,223	0,789	3,472	0,9823	0,428	1,572	0,421	1,544	0,756	1,203	5,741	0,347	1,653
16	0,750	0,212	0,763	3,532	0,9835	0,448	1,552	0,440	1,526	0,750	1,282	5,782	0,363	1,637
17	0,728	0,203	0,739	3,588	0,9845	0,466	1,534	0,458	1,511	0,744	1,356	5,820	0,378	1,622
18	0,707	0,194	0,718	3,640	0,9854	0,482	1,518	0,475	1,496	0,739	1,424	5,856	0,391	1,608
19	0,688	0,187	0,698	3,689	0,9862	0,497	1,503	0,490	1,483	0,734	1,487	5,891	0,403	1,597
20	0,671	0,180	0,680	3,735	0,9869	0,510	1,490	0,504	1,470	0,729	1,549	5,921	0,415	1,585
21	0,655	0,173	0,663	3,778	0,9876	0,523	1,477	0,516	1,459	0,724	1,605	5,951	0,425	1,575
22	0,640	0,167	0,647	3,819	0,9882	0,534	1,466	0,528	1,448	0,720	1,659	5,979	0,434	1,566
23	0,626	0,162	0,633	3,858	0,9887	0,545	1,455	0,539	1,438	0,716	1,710	6,006	0,443	1,557
24	0,612	0,157	0,619	3,895	0,9892	0,555	1,445	0,549	1,429	0,712	1,759	6,031	0,451	1,548
25	0,600	0,153	0,606	3,931	0,9896	0,565	1,435	0,559	1,420	0,708	1,806	6,056	0,459	1,541

Para $n > 25$

$$A = \frac{3}{\sqrt{n}} \quad A_3 = \frac{3}{c_4 \sqrt{n}} \quad c_4 \approx \frac{4(n-1)}{4n-3} \quad B_3 = 1 - \frac{3\sqrt{1-c_4^2}}{c_4} \quad B_4 = 1 + \frac{3\sqrt{1-c_4^2}}{c_4} \quad B_5 = c_4 - 3\sqrt{1-c_4^2} \quad B_6 = c_4 + 3\sqrt{1-c_4^2}$$

Figura VI.1 - Factores para construção das cartas de controlo de variáveis; adaptado de Requeijo (2012)

VII. Passos intermédios da construção das cartas de controlo

Neste anexo encontram-se disponíveis alguns dos passos intermédios que foi necessário considerar quando se estava a construir as cartas de controlo.

Máquina 144

Na figura VII.1 podemos observar o gráfico das observações individuais das amostras da máquina 144.

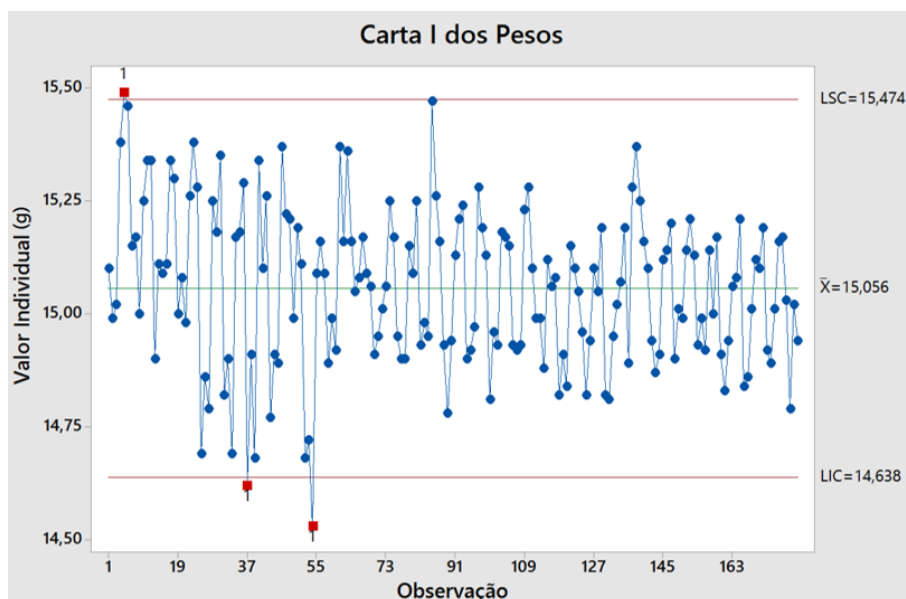


Figura VII.1 - Gráfico das observações individuais

Uma vez que existem três amostras fora dos limites de controlo é necessário proceder à sua remoção. Após a remoção dessas amostras contruiu-se a carta da figura VII.2.

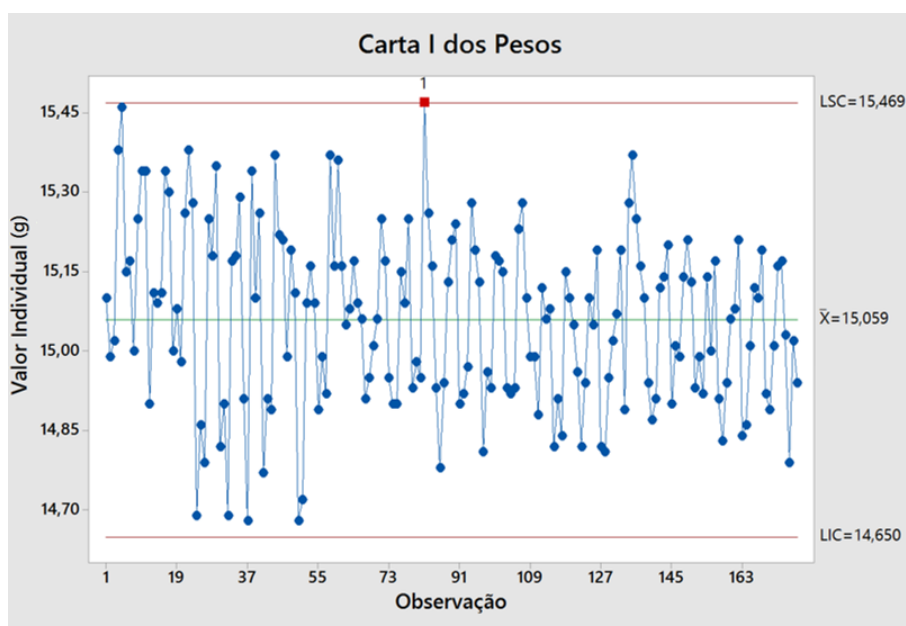


Figura VII.2 - Gráfico das observações individuais

Máquina 145

Para a aplicação do teste das sequências construiu-se o gráfico das observações individuais apresentado na figura VII.3.

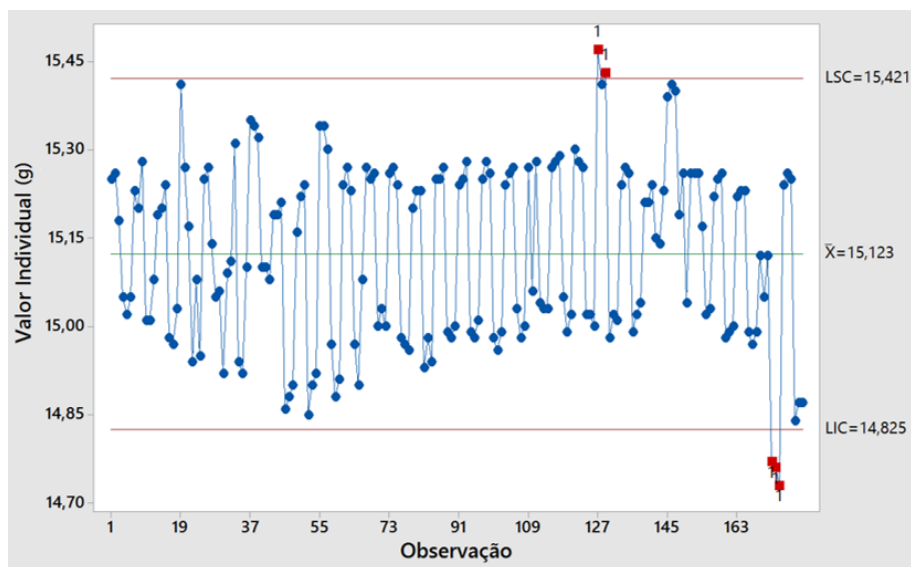


Figura VII.3 - Gráfico das observações individuais (peso das embalagens)

Dados conjuntos

OS gráficos que se seguem consistem nos gráficos intermédios da aplicação do teste das sucessões às amostras retiradas de ambas as máquinas. Da construção do gráfico das observações individuais no *Minitab* resultou a figura VII.4

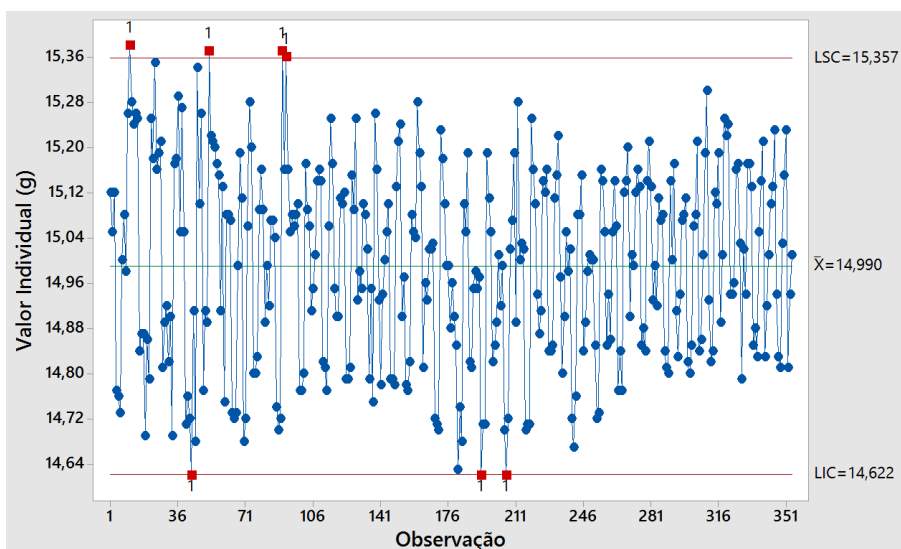


Figura VII.4 - Gráfico das observações individuais (peso das embalagens)

Uma vez que existiam vários pontos fora dos limites de controlo (11, 43, 52, 90, 92, 193 e 206) procedeu-se à sua remoção, tendo-se obtido assim a carta da figura VII.5.

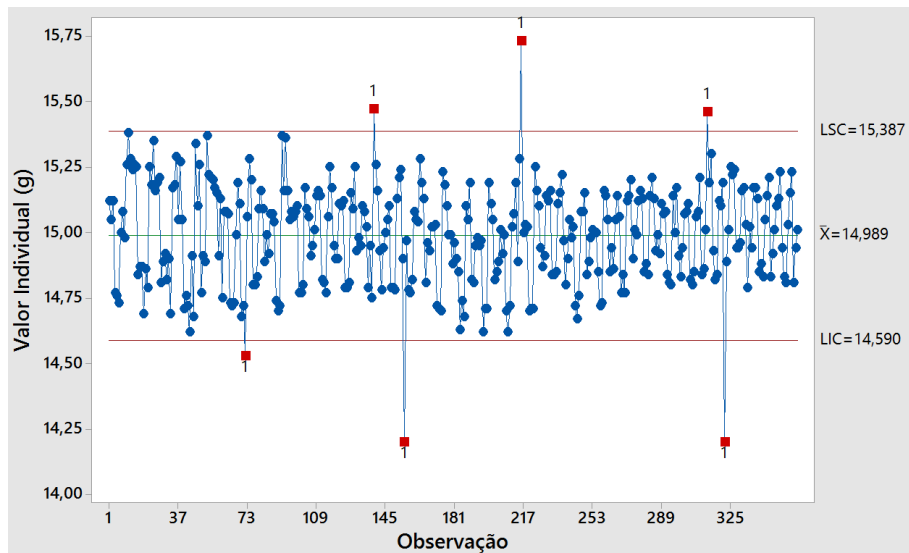


Figura VII.5 - Gráfico das observações individuais (peso das embalagens)

Removeram-se as amostras que se encontravam fora dos limites de controlo (72, 139, 155, 216, 313 e 322) e construiu-se a carta da figura VII.6.

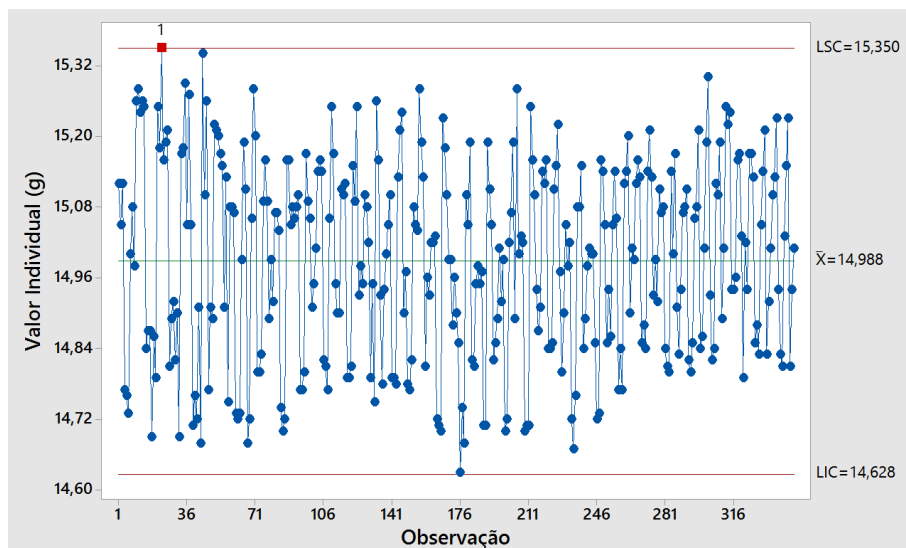


Figura VII.6 - Gráfico das observações individuais (carta conjunta dos pesos das embalagens)

Remove-se a amostra número 23 e obtém-se a figura VII.7:

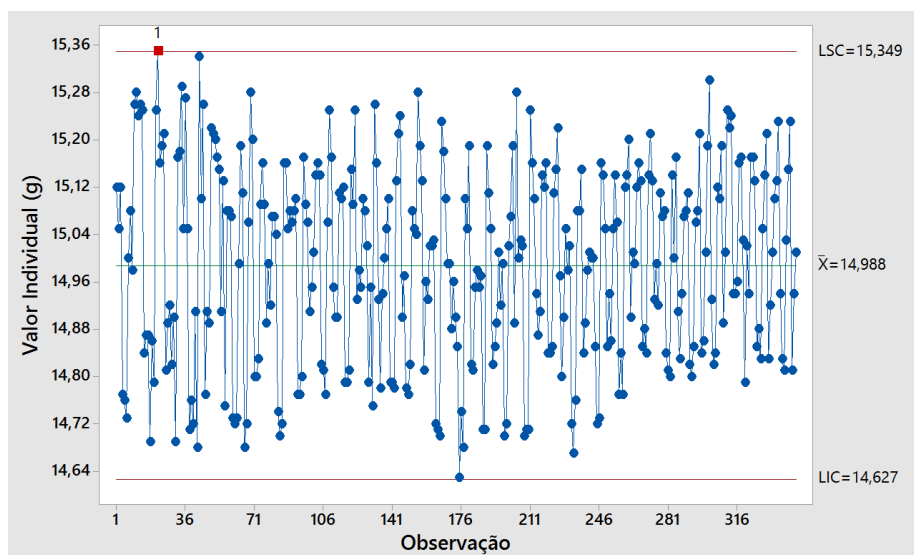


Figura VII.7 - Gráfico das observações individuais (carta conjunta dos pesos das embalagens)

Primeiras matrizes obtidas

$V =$

$$\begin{bmatrix} 1,55E-02 & 1,07E-02 & 1,21E-02 & -3,42E-03 & -2,82E-03 & -2,65E-03 & -5,80E-03 & -2,64E-03 & -2,31E-03 & -5,49E-03 & 1,52E-03 & 5,02E-03 \\ 1,07E-02 & 1,35E-02 & 1,11E-02 & -1,91E-03 & -3,30E-04 & -8,95E-04 & -9,45E-03 & -2,91E-03 & -6,38E-03 & 4,07E-03 & 2,35E-03 & 3,01E-03 \\ 1,21E-02 & 1,11E-02 & 1,25E-02 & -2,86E-04 & -7,12E-04 & 1,23E-04 & -7,09E-03 & -2,07E-03 & -3,18E-03 & -1,49E-03 & 1,45E-03 & 3,94E-03 \\ -3,42E-03 & -1,91E-03 & -2,86E-04 & 1,92E-02 & 1,41E-02 & 1,39E-02 & 3,03E-03 & 2,52E-03 & 1,73E-03 & -5,32E-03 & 3,83E-03 & -6,60E-03 \\ -2,82E-03 & -3,30E-04 & -7,12E-04 & 1,41E-02 & 1,37E-02 & 1,15E-02 & 2,56E-03 & 1,71E-03 & -1,13E-03 & -9,87E-04 & 1,91E-03 & -5,96E-03 \\ -2,65E-03 & -8,95E-04 & 1,23E-04 & 1,39E-02 & 1,15E-02 & 1,20E-02 & 3,93E-04 & 2,70E-04 & -1,23E-03 & -2,29E-03 & 3,82E-03 & -3,30E-03 \\ -5,80E-03 & -9,45E-03 & -7,09E-03 & 3,03E-03 & 2,56E-03 & 3,93E-04 & 2,79E-02 & 1,20E-02 & 1,78E-02 & -1,24E-02 & -1,07E-02 & -1,60E-02 \\ -2,64E-03 & -2,91E-03 & -2,07E-03 & 2,52E-03 & 1,71E-03 & 2,70E-04 & 1,20E-02 & 8,91E-03 & 9,68E-03 & -7,70E-03 & -8,05E-03 & -1,15E-02 \\ -2,31E-03 & -6,38E-03 & -3,18E-03 & 1,73E-03 & -1,13E-03 & -1,23E-03 & 1,78E-02 & 9,68E-03 & 2,28E-02 & -1,51E-02 & -1,28E-02 & -1,10E-02 \\ -5,49E-03 & 4,07E-03 & -1,49E-03 & -5,32E-03 & -9,87E-04 & -2,29E-03 & -1,24E-02 & -7,70E-03 & -1,51E-02 & 3,98E-02 & 1,63E-02 & 1,74E-02 \\ 1,52E-03 & 2,35E-03 & 1,45E-03 & 3,83E-03 & 1,91E-03 & 3,82E-03 & -1,07E-02 & -8,05E-03 & -1,28E-02 & 1,63E-02 & 4,05E-02 & 2,29E-02 \\ 5,02E-03 & 3,01E-03 & 3,94E-03 & -6,60E-03 & -5,96E-03 & -3,30E-03 & -1,60E-02 & -1,15E-02 & -1,10E-02 & 1,74E-02 & 2,29E-02 & 4,28E-02 \end{bmatrix}$$

$V^2 = VV =$

$$= \begin{bmatrix} 6,32E-04 & 5,28E-04 & 5,44E-04 & -2,46E-04 & -2,12E-04 & -1,59E-04 & -5,58E-04 & -2,54E-04 & -3,15E-04 & -1,18E-05 & 2,38E-04 & 5,08E-04 \\ 5,28E-04 & 5,95E-04 & 5,22E-04 & -1,99E-04 & -1,24E-04 & -8,70E-05 & -8,11E-04 & -3,82E-04 & -6,15E-04 & 4,82E-04 & 4,89E-04 & 6,63E-04 \\ 5,44E-04 & 5,22E-04 & 5,11E-04 & -1,25E-04 & -9,63E-05 & -5,46E-05 & -6,05E-04 & -2,71E-04 & -3,96E-04 & 1,47E-04 & 3,18E-04 & 4,97E-04 \\ -2,46E-04 & -1,99E-04 & -1,25E-04 & 8,84E-04 & 6,98E-04 & 6,56E-04 & 4,15E-04 & 2,53E-04 & 2,42E-04 & -4,84E-04 & -1,33E-05 & -6,65E-04 \\ -2,12E-04 & -1,24E-04 & -9,63E-05 & 6,98E-04 & 5,78E-04 & 5,31E-04 & 2,65E-04 & 1,68E-04 & 9,78E-05 & -2,40E-04 & 1,64E-05 & -5,08E-04 \\ -1,59E-04 & -8,70E-05 & -5,46E-05 & 6,56E-04 & 5,31E-04 & 5,09E-04 & 1,32E-04 & 8,72E-05 & 1,11E-05 & -1,77E-04 & 1,66E-04 & -3,05E-04 \\ -5,58E-04 & -8,11E-04 & -6,05E-04 & 4,15E-04 & 2,65E-04 & 1,32E-04 & 1,95E-03 & 1,05E-03 & 1,62E-03 & -1,67E-03 & -1,64E-03 & -2,04E-03 \\ -2,54E-04 & -3,82E-04 & -2,71E-04 & 2,53E-04 & 1,68E-04 & 8,72E-05 & 1,05E-03 & 6,01E-04 & 8,99E-04 & -1,01E-03 & -1,04E-03 & -1,27E-03 \\ -3,15E-04 & -6,15E-04 & -3,96E-04 & 2,42E-04 & 9,78E-05 & 1,11E-05 & 1,62E-03 & 8,99E-04 & 1,51E-03 & -1,66E-03 & -1,60E-03 & -1,72E-03 \\ -1,18E-05 & 4,82E-04 & 1,47E-04 & -4,84E-04 & -2,40E-04 & -1,77E-04 & -1,67E-03 & -1,01E-03 & -1,66E-03 & 2,68E-03 & 2,06E-03 & 2,29E-03 \\ 2,38E-04 & 4,89E-04 & 3,18E-04 & -1,33E-05 & 1,64E-05 & 1,66E-04 & -1,64E-03 & -1,04E-03 & -1,60E-03 & 2,06E-03 & 2,81E-03 & 2,56E-03 \\ 5,08E-04 & 6,63E-04 & 4,97E-04 & -6,65E-04 & -5,08E-04 & -3,05E-04 & -2,04E-03 & -1,27E-03 & -1,72E-03 & 2,29E-03 & 2,56E-03 & 3,31E-03 \end{bmatrix}$$

Matrizes utilizadas após a remoção do ponto número 27

$$R = \begin{bmatrix} 1,000 & 0,791 & 0,862 & -0,351 & -0,244 & -0,276 & -0,356 & -0,253 & -0,221 & 0,263 & 0,111 & 0,233 \\ 0,791 & 1,000 & 0,861 & -0,148 & -0,027 & -0,081 & -0,498 & -0,265 & -0,389 & 0,396 & 0,111 & 0,126 \\ 0,862 & 0,861 & 1,000 & -0,079 & -0,062 & -0,010 & -0,416 & -0,199 & -0,242 & 0,250 & 0,089 & 0,180 \\ -0,351 & -0,148 & -0,079 & 1,000 & 0,881 & 0,920 & 0,129 & 0,199 & 0,069 & -0,125 & 0,147 & -0,234 \\ -0,244 & -0,027 & -0,062 & 0,881 & 1,000 & 0,896 & 0,131 & 0,155 & -0,066 & -0,047 & 0,082 & -0,246 \\ -0,276 & -0,081 & -0,010 & 0,920 & 0,896 & 1,000 & 0,020 & 0,028 & -0,080 & -0,092 & 0,177 & -0,146 \\ -0,356 & -0,498 & -0,416 & 0,129 & 0,131 & 0,020 & 1,000 & 0,760 & 0,707 & -0,479 & -0,317 & -0,463 \\ -0,253 & -0,265 & -0,199 & 0,199 & 0,155 & 0,028 & 0,760 & 1,000 & 0,686 & -0,587 & -0,426 & -0,588 \\ -0,221 & -0,389 & -0,242 & 0,069 & -0,066 & -0,080 & 0,707 & 0,686 & 1,000 & -0,574 & -0,420 & -0,354 \\ 0,263 & 0,396 & 0,250 & -0,125 & -0,047 & -0,092 & -0,479 & -0,574 & -0,587 & 1,000 & 0,496 & 0,569 \\ 0,111 & 0,111 & 0,089 & 0,147 & 0,082 & 0,177 & -0,317 & -0,426 & -0,420 & 0,496 & 1,000 & 0,551 \\ 0,233 & 0,126 & 0,180 & -0,234 & -0,246 & -0,146 & -0,463 & -0,588 & -0,354 & 0,569 & 0,551 & 1,000 \end{bmatrix}$$

$V =$

$$= \begin{bmatrix} 1,08E-02 & 9,56E-03 & 9,49E-03 & -5,08E-03 & -3,01E-03 & -3,18E-03 & -6,28E-03 & -2,52E-03 & -3,50E-03 & 4,14E-03 & 2,35E-03 & 5,09E-03 \\ 9,56E-03 & 1,36E-02 & 1,06E-02 & -2,41E-03 & -3,67E-04 & -1,05E-03 & -9,85E-03 & -2,96E-03 & -6,92E-03 & 6,99E-03 & 2,65E-03 & 3,08E-03 \\ 9,49E-03 & 1,06E-02 & 1,13E-02 & -1,17E-03 & -7,89E-04 & -1,22E-04 & -7,49E-03 & -2,03E-03 & -3,92E-03 & 4,02E-03 & 1,93E-03 & 4,02E-03 \\ -5,08E-03 & -2,41E-03 & -1,17E-03 & 1,94E-02 & 1,46E-02 & 1,43E-02 & 3,05E-03 & 2,67E-03 & 1,46E-03 & -2,64E-03 & 4,19E-03 & -6,86E-03 \\ -3,01E-03 & -3,67E-04 & -7,89E-04 & 1,46E-02 & 1,42E-02 & 1,19E-02 & 2,64E-03 & 1,77E-03 & -1,19E-03 & -8,51E-04 & 1,99E-03 & -6,17E-03 \\ -3,18E-03 & -1,05E-03 & -1,22E-04 & 1,43E-02 & 1,19E-02 & 1,24E-02 & 3,84E-04 & 2,96E-04 & -1,37E-03 & -1,56E-03 & 4,02E-03 & -3,42E-03 \\ -6,28E-03 & -9,85E-03 & -7,49E-03 & 3,05E-03 & 2,64E-03 & 3,84E-04 & 2,88E-02 & 1,24E-02 & 1,83E-02 & -1,23E-02 & -1,10E-02 & -1,65E-02 \\ -2,52E-03 & -2,96E-03 & -2,03E-03 & 2,67E-03 & 1,77E-03 & 2,96E-04 & 1,24E-02 & 9,20E-03 & 1,01E-02 & -8,35E-03 & -8,35E-03 & -1,19E-02 \\ -3,50E-03 & -6,92E-03 & -3,92E-03 & 1,46E-03 & -1,19E-03 & -1,37E-03 & 1,83E-02 & 1,01E-02 & 2,33E-02 & -1,36E-02 & -1,31E-02 & -1,14E-02 \\ 4,14E-03 & 6,99E-03 & 4,02E-03 & -2,64E-03 & -8,51E-04 & -1,56E-03 & -1,23E-02 & -8,35E-03 & -1,36E-02 & 2,30E-02 & 1,54E-02 & 1,82E-02 \\ 2,35E-03 & 2,65E-03 & 1,93E-03 & 4,19E-03 & 1,99E-03 & 4,02E-03 & -1,10E-02 & -8,35E-03 & -1,31E-02 & 1,54E-02 & 4,18E-02 & 2,37E-02 \\ 5,09E-03 & 3,08E-03 & 4,02E-03 & -6,86E-03 & -6,17E-03 & -3,42E-03 & -1,65E-02 & -1,19E-02 & -1,14E-02 & 1,82E-02 & 2,37E-02 & 4,43E-02 \end{bmatrix}$$

$$V^2 = VV$$

$$= \begin{bmatrix} 4,49\text{E}-04 & 4,95\text{E}-04 & 4,27\text{E}-04 & -3,44\text{E}-04 & -2,45\text{E}-04 & -2,06\text{E}-04 & -6,95\text{E}-04 & -3,45\text{E}-04 & -5,08\text{E}-04 & 5,41\text{E}-04 & 4,48\text{E}-04 & 7,17\text{E}-04 \\ 4,95\text{E}-04 & 6,15\text{E}-04 & 5,11\text{E}-04 & -2,37\text{E}-04 & -1,38\text{E}-04 & -1,04\text{E}-04 & -8,96\text{E}-04 & -4,29\text{E}-04 & -7,08\text{E}-04 & 6,83\text{E}-04 & 5,79\text{E}-04 & 7,59\text{E}-04 \\ 4,27\text{E}-04 & 5,11\text{E}-04 & 4,44\text{E}-04 & -1,87\text{E}-04 & -1,14\text{E}-04 & -8,07\text{E}-05 & -7,04\text{E}-04 & -3,31\text{E}-04 & -5,27\text{E}-04 & 5,21\text{E}-04 & 4,54\text{E}-04 & 6,29\text{E}-04 \\ -3,44\text{E}-04 & -2,37\text{E}-04 & -1,87\text{E}-04 & 9,18\text{E}-04 & 7,41\text{E}-04 & 6,90\text{E}-04 & 4,15\text{E}-04 & 2,50\text{E}-04 & 2,07\text{E}-04 & -3,29\text{E}-04 & 4,43\text{E}-05 & -6,61\text{E}-04 \\ -2,45\text{E}-04 & -1,38\text{E}-04 & -1,14\text{E}-04 & 7,41\text{E}-04 & 6,18\text{E}-04 & 5,66\text{E}-04 & 2,82\text{E}-04 & 1,79\text{E}-04 & 9,86\text{E}-05 & -2,20\text{E}-04 & 2,30\text{E}-05 & -5,40\text{E}-04 \\ -2,06\text{E}-04 & -1,04\text{E}-04 & -8,07\text{E}-05 & 6,90\text{E}-04 & 5,66\text{E}-04 & 5,41\text{E}-04 & 1,32\text{E}-04 & 8,79\text{E}-05 & -5,73\text{E}-06 & -1,13\text{E}-04 & 1,97\text{E}-04 & -3,12\text{E}-04 \\ -6,95\text{E}-04 & -8,96\text{E}-04 & -7,04\text{E}-04 & 4,15\text{E}-04 & 2,82\text{E}-04 & 1,32\text{E}-04 & 2,07\text{E}-03 & 1,12\text{E}-03 & 1,70\text{E}-03 & -1,60\text{E}-03 & -1,74\text{E}-03 & -2,18\text{E}-03 \\ -3,45\text{E}-04 & -4,29\text{E}-04 & -3,31\text{E}-04 & 2,50\text{E}-04 & 1,79\text{E}-04 & 8,79\text{E}-05 & 1,12\text{E}-03 & 6,49\text{E}-04 & 9,51\text{E}-04 & -9,51\text{E}-04 & -1,11\text{E}-03 & -1,36\text{E}-03 \\ -5,08\text{E}-04 & -7,08\text{E}-04 & -5,27\text{E}-04 & 2,07\text{E}-04 & 9,86\text{E}-05 & -5,73\text{E}-06 & 1,70\text{E}-03 & 9,51\text{E}-04 & 1,55\text{E}-03 & -1,43\text{E}-03 & -1,66\text{E}-03 & -1,80\text{E}-03 \\ 5,41\text{E}-04 & 6,83\text{E}-04 & 5,21\text{E}-04 & -3,29\text{E}-04 & -2,20\text{E}-04 & -1,13\text{E}-04 & -1,60\text{E}-03 & -9,51\text{E}-04 & -1,43\text{E}-03 & 1,60\text{E}-03 & 1,83\text{E}-03 & 2,13\text{E}-03 \\ 4,48\text{E}-04 & 5,79\text{E}-04 & 4,54\text{E}-04 & 4,43\text{E}-05 & 2,30\text{E}-05 & 1,97\text{E}-04 & -1,74\text{E}-03 & -1,11\text{E}-03 & -1,66\text{E}-03 & 1,83\text{E}-03 & 2,96\text{E}-03 & 2,72\text{E}-03 \\ 7,17\text{E}-04 & 7,59\text{E}-04 & 6,29\text{E}-04 & -6,61\text{E}-04 & -5,40\text{E}-04 & -3,12\text{E}-04 & -2,18\text{E}-03 & -1,36\text{E}-03 & -1,80\text{E}-03 & 2,13\text{E}-03 & 2,72\text{E}-03 & 3,55\text{E}-03 \end{bmatrix}$$

VIII. Tabela da Normal reduzida

Z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,5000	0,4960	0,4920	0,4880	0,4840	0,4801	0,4761	0,4721	0,4681	0,4641
0,1	0,4602	0,4562	0,4522	0,4483	0,4443	0,4404	0,4364	0,4325	0,4286	0,4247
0,2	0,4207	0,4168	0,4129	0,4090	0,4052	0,4013	0,3974	0,3936	0,3897	0,3859
0,3	0,3821	0,3783	0,3745	0,3707	0,3669	0,3632	0,3594	0,3557	0,3520	0,3483
0,4	0,3446	0,3409	0,3372	0,3336	0,3300	0,3264	0,3228	0,3192	0,3156	0,3121
0,5	0,3085	0,3050	0,3015	0,2981	0,2946	0,2912	0,2877	0,2843	0,2810	0,2776
0,6	0,2743	0,2709	0,2676	0,2643	0,2611	0,2578	0,2546	0,2514	0,2483	0,2451
0,7	0,2420	0,2389	0,2358	0,2327	0,2296	0,2266	0,2236	0,2206	0,2177	0,2148
0,8	0,2119	0,2090	0,2061	0,2033	0,2005	0,1977	0,1949	0,1922	0,1894	0,1867
0,9	0,1841	0,1814	0,1788	0,1762	0,1736	0,1711	0,1685	0,1660	0,1635	0,1611
1,0	0,1587	0,1562	0,1539	0,1515	0,1492	0,1469	0,1446	0,1423	0,1401	0,1379
1,1	0,1357	0,1335	0,1314	0,1292	0,1271	0,1251	0,1230	0,1210	0,1190	0,1170
1,2	0,1151	0,1131	0,1112	0,1093	0,1075	0,1056	0,1038	0,1020	0,1003	0,0985
1,3	0,0968	0,0951	0,0934	0,0918	0,0901	0,0885	0,0869	0,0853	0,0838	0,0823
1,4	0,0808	0,0793	0,0778	0,0764	0,0749	0,0735	0,0721	0,0708	0,0694	0,0681
1,5	0,0668	0,0655	0,0643	0,0630	0,0618	0,0606	0,0594	0,0582	0,0571	0,0559
1,6	0,0548	0,0537	0,0526	0,0516	0,0505	0,0495	0,0485	0,0475	0,0465	0,0455
1,7	0,0446	0,0436	0,0427	0,0418	0,0409	0,0401	0,0392	0,0384	0,0375	0,0367
1,8	0,0359	0,0351	0,0344	0,0336	0,0329	0,0322	0,0314	0,0307	0,0301	0,0294
1,9	0,0287	0,0281	0,0274	0,0268	0,0262	0,0256	0,0250	0,0244	0,0239	0,0233
2,0	0,0228	0,0222	0,0217	0,0212	0,0207	0,0202	0,0197	0,0192	0,0188	0,0183
2,1	0,0179	0,0174	0,0170	0,0166	0,0162	0,0158	0,0154	0,0150	0,0146	0,0143
2,2	0,0139	0,0136	0,0132	0,0129	0,0125	0,0122	0,0119	0,0116	0,0113	0,0110
2,3	0,0107	0,0104	0,0102	0,0099	0,0096	0,0094	0,0091	0,0089	0,0087	0,0084
2,4	0,0082	0,0080	0,0078	0,0075	0,0073	0,0071	0,0069	0,0068	0,0066	0,0064
2,5	0,0062	0,0060	0,0059	0,0057	0,0055	0,0054	0,0052	0,0051	0,0049	0,0048
2,6	0,0047	0,0045	0,0044	0,0043	0,0041	0,0040	0,0039	0,0038	0,0037	0,0036
2,7	0,0035	0,0034	0,0033	0,0032	0,0031	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026
2,8	0,00256	0,00248	0,00240	0,00233	0,00226	0,00219	0,00212	0,00205	0,00199	0,00193
2,9	0,00187	0,00181	0,00175	0,00169	0,00164	0,00159	0,00154	0,00149	0,00144	0,00139
3,0	0,00135	0,00131	0,00126	0,00122	0,00118	0,00114	0,00111	0,00107	0,00104	0,00100
3,1	0,00097	0,00094	0,00090	0,00087	0,00084	0,00082	0,00079	0,00076	0,00074	0,00071
3,2	0,00069	0,00066	0,00064	0,00062	0,00060	0,00058	0,00056	0,00054	0,00052	0,00050
3,3	0,00048	0,00047	0,00045	0,00043	0,00042	0,00040	0,00039	0,00038	0,00036	0,00035
3,4	0,00034	0,00032	0,00031	0,00030	0,00029	0,00028	0,00027	0,00026	0,00025	0,00024
3,5	0,00023	0,00022	0,00022	0,00021	0,00020	0,00019	0,00019	0,00018	0,00017	0,00017
3,6	0,00016	0,00015	0,00015	0,00014	0,00014	0,00013	0,00013	0,00012	0,00012	0,00011
3,7	0,00011	0,00010	0,00010	0,00010	0,00009	0,00009	0,00008	0,00008	0,00008	0,00008
3,8	0,00007	0,00007	0,00007	0,00006	0,00006	0,00006	0,00006	0,00005	0,00005	0,00005
3,9	0,00005	0,00005	0,00004	0,00004	0,00004	0,00004	0,00004	0,00004	0,00003	0,00003
4,0	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002
4,1	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001

$$S(x) = 1 - F(x) = P(X > x)$$

Figura VIII.1 - Distribuição Normal reduzida

IX. Tabela do t-Student

	α													
v	45%	40%	35%	30%	25%	20%	15%	10%	5%	2,5%	2%	1%	0,5%	
1	0,1584	0,3249	0,5095	0,7265	1,0000	1,3764	1,9626	3,0777	6,3138	12,706	15,895	31,821	63,657	
2	0,1421	0,2887	0,4447	0,6172	0,8165	1,0607	1,3862	1,8856	2,9200	4,3027	4,8487	6,9646	9,9248	
3	0,1366	0,2767	0,4242	0,5844	0,7649	0,9785	1,2498	1,6377	2,3534	3,1824	3,4819	4,5407	5,8409	
4	0,1338	0,2707	0,4142	0,5686	0,7407	0,9410	1,1896	1,5332	2,1318	2,7764	2,9985	3,7469	4,6041	
5	0,1322	0,2672	0,4082	0,5594	0,7267	0,9195	1,1558	1,4759	2,0150	2,5706	2,7565	3,3649	4,0321	
6	0,1311	0,2648	0,4043	0,5534	0,7176	0,9057	1,1342	1,4398	1,9432	2,4469	2,6122	3,1427	3,7074	
7	0,1303	0,2632	0,4015	0,5491	0,7111	0,8960	1,1192	1,4149	1,8946	2,3646	2,5168	2,9980	3,4995	
8	0,1297	0,2619	0,3995	0,5459	0,7064	0,8889	1,1081	1,3968	1,8595	2,3060	2,4490	2,8965	3,3554	
9	0,1293	0,2610	0,3979	0,5435	0,7027	0,8834	1,0997	1,3830	1,8331	2,2622	2,3984	2,8214	3,2498	
10	0,1289	0,2602	0,3966	0,5415	0,6998	0,8791	1,0931	1,3722	1,8125	2,2281	2,3593	2,7638	3,1693	
11	0,1286	0,2596	0,3956	0,5399	0,6974	0,8755	1,0877	1,3634	1,7959	2,2010	2,3281	2,7181	3,1058	
12	0,1283	0,2590	0,3947	0,5386	0,6955	0,8726	1,0832	1,3562	1,7823	2,1788	2,3027	2,6810	3,0545	
13	0,1281	0,2586	0,3940	0,5375	0,6938	0,8702	1,0795	1,3502	1,7709	2,1604	2,2816	2,6503	3,0123	
14	0,1280	0,2582	0,3933	0,5366	0,6924	0,8681	1,0763	1,3450	1,7613	2,1448	2,2638	2,6245	2,9768	
15	0,1278	0,2579	0,3928	0,5357	0,6912	0,8662	1,0735	1,3406	1,7531	2,1314	2,2485	2,6025	2,9467	
16	0,1277	0,2576	0,3923	0,5350	0,6901	0,8647	1,0711	1,3368	1,7459	2,1199	2,2354	2,5835	2,9208	
17	0,1276	0,2573	0,3919	0,5344	0,6892	0,8633	1,0690	1,3334	1,7396	2,1098	2,2238	2,5669	2,8982	
18	0,1274	0,2571	0,3915	0,5338	0,6884	0,8620	1,0672	1,3304	1,7341	2,1009	2,2137	2,5524	2,8784	
19	0,1274	0,2569	0,3912	0,5333	0,6876	0,8610	1,0655	1,3277	1,7291	2,0930	2,2047	2,5395	2,8609	
20	0,1273	0,2567	0,3909	0,5329	0,6870	0,8600	1,0640	1,3253	1,7247	2,0860	2,1967	2,5280	2,8453	
21	0,1272	0,2566	0,3906	0,5325	0,6864	0,8591	1,0627	1,3232	1,7207	2,0796	2,1894	2,5176	2,8314	
22	0,1271	0,2564	0,3904	0,5321	0,6858	0,8583	1,0614	1,3212	1,7171	2,0739	2,1829	2,5083	2,8188	
23	0,1271	0,2563	0,3902	0,5317	0,6853	0,8575	1,0603	1,3195	1,7139	2,0687	2,1770	2,4999	2,8073	
24	0,1270	0,2562	0,3900	0,5314	0,6848	0,8569	1,0593	1,3178	1,7109	2,0639	2,1715	2,4922	2,7969	
25	0,1269	0,2561	0,3898	0,5312	0,6844	0,8562	1,0584	1,3163	1,7081	2,0595	2,1666	2,4851	2,7874	
26	0,1269	0,2560	0,3896	0,5309	0,6840	0,8557	1,0575	1,3150	1,7056	2,0555	2,1620	2,4786	2,7787	
27	0,1268	0,2559	0,3894	0,5306	0,6837	0,8551	1,0567	1,3137	1,7033	2,0518	2,1578	2,4727	2,7707	
28	0,1268	0,2558	0,3893	0,5304	0,6834	0,8546	1,0560	1,3125	1,7011	2,0484	2,1539	2,4671	2,7633	
29	0,1268	0,2557	0,3892	0,5302	0,6830	0,8542	1,0553	1,3114	1,6991	2,0452	2,1503	2,4620	2,7564	
30	0,1267	0,2556	0,3890	0,5300	0,6828	0,8538	1,0547	1,3104	1,6973	2,0423	2,1470	2,4573	2,7500	
35	0,1266	0,2553	0,3885	0,5292	0,6816	0,8520	1,0520	1,3062	1,6896	2,0301	2,1332	2,4377	2,7238	
40	0,1265	0,2550	0,3881	0,5286	0,6807	0,8507	1,0500	1,3031	1,6839	2,0211	2,1229	2,4233	2,7045	
45	0,1264	0,2549	0,3878	0,5281	0,6800	0,8497	1,0485	1,3006	1,6794	2,0141	2,1150	2,4121	2,6896	
50	0,1263	0,2547	0,3875	0,5278	0,6794	0,8489	1,0473	1,2987	1,6759	2,0086	2,1087	2,4033	2,6778	
60	0,1262	0,2545	0,3872	0,5272	0,6786	0,8477	1,0455	1,2958	1,6706	2,0003	2,0994	2,3901	2,6603	
70	0,1261	0,2543	0,3869	0,5268	0,6780	0,8468	1,0442	1,2938	1,6669	1,9944	2,0927	2,3808	2,6479	
80	0,1261	0,2542	0,3867	0,5265	0,6776	0,8461	1,0432	1,2922	1,6641	1,9901	2,0878	2,3739	2,6387	
90	0,1260	0,2541	0,3866	0,5263	0,6772	0,8456	1,0424	1,2910	1,6620	1,9867	2,0839	2,3685	2,6316	
100	0,1260	0,2540	0,3864	0,5261	0,6770	0,8452	1,0418	1,2901	1,6602	1,9840	2,0809	2,3642	2,6259	
150	0,1259	0,2538	0,3861	0,5255	0,6761	0,8440	1,0400	1,2872	1,6551	1,9759	2,0718	2,3515	2,6090	
200	0,1258	0,2537	0,3859	0,5252	0,6757	0,8434	1,0391	1,2858	1,6525	1,9719	2,0672	2,3451	2,6006	
300	0,1258	0,2536	0,3857	0,5250	0,6753	0,8428	1,0382	1,2844	1,6499	1,9679	2,0627	2,3388	2,5923	
500	0,1257	0,2535	0,3855	0,5247	0,6750	0,8423	1,0375	1,2832	1,6479	1,9647	2,0591	2,3338	2,5857	
750	0,1257	0,2534	0,3855	0,5246	0,6748	0,8421	1,0372	1,2827	1,6469	1,9631	2,0573	2,3313	2,5824	

Figura IX.1 - Tabela de t-Student

X. Tabela da distribuição de Fisher

		V _n (número de graus de liberdade do numerador)																			
V _d	α	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	100
29	25%	1,304	1,302	1,299	1,297	1,295	1,293	1,291	1,290	1,288	1,286	1,280	1,275	1,270	1,267	1,264	1,262	1,258	1,254	1,252	1,250
	10%	1,668	1,660	1,653	1,647	1,640	1,635	1,630	1,625	1,620	1,616	1,597	1,583	1,571	1,562	1,554	1,547	1,537	1,529	1,522	1,517
	5%	1,932	1,921	1,910	1,901	1,891	1,883	1,875	1,868	1,861	1,854	1,827	1,806	1,789	1,775	1,763	1,754	1,738	1,726	1,717	1,710
	2.5%	2,196	2,181	2,167	2,154	2,142	2,131	2,120	2,110	2,101	2,092	2,056	2,028	2,005	1,987	1,972	1,959	1,939	1,923	1,911	1,901
	1%	2,552	2,531	2,512	2,495	2,478	2,463	2,449	2,436	2,423	2,412	2,363	2,325	2,296	2,271	2,251	2,234	2,207	2,187	2,171	2,158
	0.5%	2,828	2,803	2,780	2,759	2,740	2,722	2,705	2,689	2,674	2,660	2,601	2,557	2,521	2,492	2,468	2,448	2,416	2,391	2,372	2,357
30	25%	1,301	1,298	1,296	1,293	1,291	1,289	1,287	1,286	1,284	1,282	1,276	1,270	1,266	1,263	1,260	1,257	1,253	1,250	1,247	1,245
	10%	1,659	1,651	1,644	1,638	1,632	1,626	1,621	1,616	1,611	1,606	1,588	1,573	1,562	1,552	1,544	1,538	1,527	1,519	1,512	1,507
	5%	1,919	1,908	1,897	1,887	1,878	1,870	1,862	1,854	1,847	1,841	1,813	1,792	1,775	1,761	1,749	1,740	1,724	1,712	1,703	1,695
	2.5%	2,178	2,163	2,149	2,136	2,124	2,112	2,102	2,092	2,083	2,074	2,037	2,009	1,986	1,968	1,953	1,940	1,920	1,904	1,892	1,882
	1%	2,526	2,506	2,487	2,469	2,453	2,437	2,423	2,410	2,398	2,386	2,337	2,299	2,269	2,245	2,225	2,208	2,181	2,160	2,144	2,131
	0.5%	2,796	2,771	2,748	2,727	2,708	2,689	2,672	2,657	2,642	2,628	2,569	2,524	2,488	2,459	2,435	2,415	2,383	2,358	2,339	2,323
35	25%	1,285	1,282	1,279	1,277	1,275	1,273	1,271	1,269	1,267	1,266	1,258	1,253	1,248	1,245	1,242	1,239	1,234	1,231	1,228	1,226
	10%	1,623	1,615	1,608	1,601	1,595	1,589	1,584	1,579	1,574	1,569	1,550	1,535	1,523	1,513	1,504	1,497	1,486	1,478	1,471	1,465
	5%	1,866	1,854	1,843	1,833	1,824	1,815	1,807	1,799	1,792	1,786	1,757	1,735	1,718	1,703	1,691	1,681	1,665	1,652	1,643	1,635
	2.5%	2,105	2,089	2,075	2,062	2,049	2,038	2,027	2,017	2,008	1,999	1,961	1,932	1,909	1,890	1,875	1,861	1,840	1,824	1,811	1,801
	1%	2,422	2,401	2,382	2,364	2,348	2,333	2,318	2,305	2,292	2,281	2,231	2,193	2,162	2,137	2,117	2,099	2,072	2,050	2,034	2,020
	0.5%	2,666	2,641	2,618	2,597	2,577	2,559	2,542	2,526	2,511	2,497	2,438	2,392	2,356	2,327	2,302	2,282	2,249	2,224	2,204	2,188
40	25%	1,273	1,270	1,267	1,265	1,263	1,260	1,258	1,256	1,255	1,253	1,245	1,240	1,235	1,231	1,228	1,225	1,220	1,217	1,214	1,212
	10%	1,596	1,588	1,581	1,574	1,568	1,562	1,556	1,551	1,546	1,541	1,521	1,506	1,493	1,483	1,474	1,467	1,455	1,447	1,439	1,434
	5%	1,826	1,814	1,803	1,793	1,783	1,775	1,766	1,759	1,751	1,744	1,715	1,693	1,675	1,660	1,648	1,637	1,621	1,608	1,597	1,589
	2.5%	2,051	2,035	2,020	2,007	1,994	1,983	1,972	1,962	1,952	1,943	1,905	1,875	1,852	1,832	1,816	1,803	1,781	1,764	1,751	1,741
	1%	2,346	2,325	2,306	2,288	2,271	2,256	2,241	2,228	2,215	2,203	2,153	2,114	2,083	2,058	2,037	2,019	1,991	1,969	1,952	1,938
	0.5%	2,571	2,546	2,523	2,502	2,482	2,464	2,447	2,431	2,416	2,401	2,342	2,296	2,259	2,230	2,205	2,184	2,150	2,125	2,105	2,088
45	25%	1,263	1,261	1,258	1,255	1,253	1,251	1,249	1,247	1,245	1,243	1,235	1,229	1,224	1,220	1,217	1,214	1,209	1,205	1,202	1,200
	10%	1,576	1,568	1,560	1,553	1,546	1,540	1,535	1,529	1,524	1,519	1,499	1,483	1,470	1,460	1,451	1,443	1,431	1,422	1,415	1,409
	5%	1,795	1,783	1,772	1,762	1,752	1,743	1,735	1,727	1,720	1,713	1,683	1,660	1,642	1,626	1,614	1,603	1,586	1,573	1,562	1,554
	2.5%	2,009	1,993	1,978	1,965	1,952	1,940	1,929	1,919	1,909	1,900	1,861	1,831	1,807	1,788	1,771	1,757	1,735	1,718	1,705	1,694
	1%	2,288	2,267	2,248	2,230	2,213	2,197	2,183	2,169	2,156	2,144	2,093	2,054	2,023	1,997	1,976	1,958	1,929	1,907	1,889	1,875
	0.5%	2,499	2,474	2,451	2,430	2,410	2,392	2,374	2,358	2,343	2,329	2,269	2,222	2,185	2,155	2,130	2,109	2,075	2,049	2,029	2,012
50	25%	1,256	1,253	1,250	1,248	1,245	1,243	1,241	1,239	1,237	1,235	1,227	1,221	1,216	1,212	1,208	1,205	1,200	1,196	1,193	1,190
	10%	1,559	1,551	1,543	1,536	1,529	1,523	1,517	1,512	1,507	1,502	1,481	1,465	1,452	1,441	1,432	1,424	1,412	1,402	1,395	1,388
	5%	1,771	1,759	1,748	1,737	1,727	1,718	1,710	1,702	1,694	1,687	1,657	1,634	1,615	1,599	1,587	1,576	1,558	1,544	1,534	1,525
	2.5%	1,976	1,960	1,945	1,931	1,919	1,907	1,895	1,885	1,875	1,866	1,827	1,796	1,772	1,752	1,735	1,721	1,698	1,681	1,667	1,656
	1%	2,242	2,221	2,202	2,183	2,167	2,151	2,136	2,123	2,110	2,098	2,046	2,007	1,975	1,949	1,927	1,909	1,880	1,857	1,839	1,825
	0.5%	2,443	2,418	2,395	2,373	2,353	2,335	2,317	2,301	2,286	2,272	2,211	2,164	2,127	2,097	2,071	2,050	2,015	1,989	1,968	1,951
55	25%	1,250	1,247	1,244	1,241	1,239	1,237	1,234	1,232	1,230	1,228	1,220	1,214	1,209	1,204	1,201	1,197	1,192	1,188	1,185	1,182
	10%	1,546	1,537	1,529	1,522	1,515	1,509	1,503	1,498	1,492	1,487	1,466	1,450	1,437	1,426	1,416	1,408	1,396	1,386	1,378	1,372
	5%	1,751	1,739	1,727	1,717	1,707	1,698	1,689	1,681	1,674	1,666	1,636	1,612	1,593	1,577	1,564	1,553	1,535	1,521	1,510	1,501
	2.5%	1,949	1,933	1,918	1,904	1,891	1,879	1,868	1,857	1,848	1,838	1,799	1,768	1,743	1,723	1,706	1,692	1,668	1,651	1,636	1,625
	1%	2,205	2,184	2,164	2,146	2,129	2,113	2,099	2,085	2,072	2,060	2,008	1,968	1,936	1,910	1,888	1,869	1,839	1,817	1,798	1,784
	0.5%	2,397	2,372	2,349	2,327	2,308	2,289	2,271	2,255	2,240	2,226	2,165	2,118	2,080	2,049	2,024	2,002	1,967	1,940	1,919	1,902

Figura X.1 - Tabela de distribuição de Fisher

XI. Medição de ângulos de contacto

Procedimento experimental

Material necessário:

- Seringa
- Etiquetas
- Pinças
- Goniómetro
- Tensiómetro de De Nüoy

Reagentes:

- Água
- Glicerina

Procedimento para determinação dos ângulos de contacto:

1. Para a medição dos ângulos de contacto da solução a analisar, posicionar a agulha perto da superfície.
2. Rodar o êmbolo de modo a formar uma gota que quase toque a superfície.
3. Preparar o software do aparelho para tirar 10 fotografias de 0,1 em 0,1 segundos.
4. Começar a aquisição de fotografias quando a gota tocar a superfície da etiqueta.
5. Exportar os resultados obtidos para o *Excel*.

Parte experimental

Foi realizado o teste no goniómetro para duas das referências estudadas anteriormente (B e A), marcando para tal três zonas distintas da etiqueta (Figura XI.1).

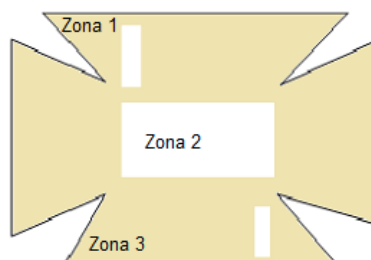


Figura XI.1 - Zonas de leitura dos ângulos de contacto

As zonas que apresentam maior densidade de pigmento são as zonas 1 e 3. Na zona 2 encontra-se descrita a informação nutricional e os ingredientes.

Nas tabelas que se seguem encontram-se disponíveis as resultantes referentes a cada zona indicada na figura anterior.

Tabela XI.1 - Resultados Zona 1 (Etiqueta A)

Medição	Esq. (°)	Dir. (°)	Média (°)	Medição	Esq. (°)	Dir. (°)	Média (°)	Medição	Esq. (°)	Dir. (°)	Média (°)
1	84,35	85,5	84,93	1				1			
2	83,01	84,16	83,58	2	84,31	84,23	84,27	2	90,41	91,46	90,93
3	84,26	86,01	85,14	3	81,36	81,72	81,54	3	89,87	91,03	90,45
4	83,64	84,54	84,09	4	81,53	82,29	81,91	4	88,79	89,8	89,3
5	83,38	84,19	83,78	5	81,06	81,9	81,48	5	89,75	90,84	90,3
6	84,53	86,79	85,66	6	80,89	81,54	81,22	6	89,72	90,76	90,24
7	81,54	82,91	82,22	7	81,34	82,18	81,76	7	89,63	90,67	90,15
8	80,91	82,62	81,77	8	81,2	81,61	81,4	8	89,71	90,72	90,21
9	80,7	82,5	81,6	9	79,83	75,64	77,74	9	89,33	90,03	89,68
10	80,66	82,28	81,47	10	80,91	81,3	81,11	10	57,84	67,99	62,92
Média (°)			83	Média (°)			81	Média (°)			87

Tabela XI.2 - Resultados Zona 2 (Etiqueta A)

Medição	Esq. (°)	Dir. (°)	Média (°)	Medição	Esq. (°)	Dir. (°)	Média (°)	Medição	Esq. (°)	Dir. (°)	Média (°)
1				1	75,92	75,48	75,7	1	76,52	83,19	79,85
2	77,52	78,76	78,14	2	75,15	74,6	74,88	2	82,57	83,01	82,79
3	76,87	77,91	77,39	3	74,46	74,19	74,32	3	70,73	80,23	75,48
4	76,11	77,12	76,61	4	74,18	74,03	74,11	4	80,46	85,3	82,88
5	75,73	76,85	76,29	5	74,08	74,12	74,1	5	74,39	83,89	79,14
6	75,01	75,9	75,46	6	73,76	73,86	73,81	6	74,98	83,83	79,4
7	74,6	75,39	74,99	7	73,83	74,03	73,93	7	74,06	84,06	79,06
8	74,31	75,23	74,77	8	73,59	73,68	73,63	8	74,38	83,71	79,05
9	73,73	74,57	74,15	9	73,61	73,77	73,69	9	61,17	74,9	68,04
10	73,07	74,12	73,59	10	72,62	72,56	72,59	10	60,01	74,02	67,01
Média (°)			76	Média (°)			74	Média (°)			77

Tabela XI.3 - Resultados Zona 3 (Etiqueta A)

Medição	Esq. (°)	Dir. (°)	Média (°)	Medição	Esq. (°)	Dir. (°)	Média (°)	Medição	Esq. (°)	Dir. (°)	Média (°)
1	60,6	62,4	61,5	1				1			
2	87,12	88,05	87,58	2	85,75	86	85,87	2			
3	87,17	88,16	87,66	3	84,66	86,13	85,4	3			
4	86,94	87,89	87,42	4	85,66	85,92	85,79	4			
5	86,99	88,06	87,53	5	85,42	85,77	85,6	5	87,88	87,48	87,68
6	61,43	62,17	61,8	6	74,86	80,65	77,75	6	60,34	60,1	60,22
7	86,76	87,73	87,25	7	85,07	85,18	85,12	7	87,29	87,1	87,19
8				8	84,81	85	84,9	8	86,2	86,25	86,22
9	86,98	87,79	87,39	9	84,83	85,06	84,95	9	86,5	86,66	86,58
10	86,84	87,32	87,08	10	54,38	69,53	61,96	10	86,21	86,33	86,27
Média (°)			82	Média (°)			82	Média (°)			82

Para a referência B obtiveram-se os seguintes resultados:

Tabela XI.4 - Resultados Zona 1 (Etiqueta B)

Medição	Esq. (°)	Dir. (°)	Média (°)	Medição	Esq. (°)	Dir. (°)	Média (°)	Medição	Esq. (°)	Dir. (°)	Média (°)
1	98,47	99,03	98,75	1				1	92,96	93,39	93,18
2	100,24	100,37	100,31	2				2	92,93	93,04	92,99
3	96,81	96,84	96,82	3	94,93	95,12	95,02	3	93,17	93,7	93,43
4	96,65	96,82	96,74	4	94,95	94,88	94,92	4	93,79	93,85	93,82
5	96,42	96,72	96,57	5	95,44	95,32	95,38	5	93,96	93,93	93,94
6	98,65	99,28	98,97	6	94,93	95,11	95,02	6	92,79	92,84	92,82
7	96,48	96,52	96,5	7	94,68	95,06	94,87	7	92,41	92,43	92,42
8	94,64	94,77	94,71	8	94,57	94,99	94,78	8	92,03	92,1	92,06
9	94,54	94,74	94,64	9	94,55	94,95	94,75	9	91,75	92,09	91,92
10	89,36	89,32	89,34	10	94,4	94,73	94,57	10	92,18	92,27	92,23
Média (°)			96	Média (°)			95	Média (°)			93

Tabela XI.5 - Resultados Zona 2 (Etiqueta B)

Medição	Esq. (°)	Dir. (°)	Média (°)	Medição	Esq. (°)	Dir. (°)	Média (°)	Medição	Esq. (°)	Dir. (°)	Média (°)
1	92,9	93,96	93,43	1				1			
2	75,16	77,35	76,25	2				2			
3	73,49	76	74,74	3				3	73,69	74,67	74,18
4	61,22	53,06	57,14	4	71,41	72,78	72,1	4	73,43	74,55	73,99
5	60,82	52,41	56,62	5	70,93	72,33	71,63	5	72,6	73,45	73,03
6	72,42	74,95	73,69	6	71,6	72,81	72,21	6	71,89	72,85	72,37
7	71,41	73,67	72,54	7	71,27	72,35	71,81	7	71,68	72,69	72,19
8	69,21	70,05	69,63	8	70,77	71,88	71,33	8	71,19	72,27	71,73
9	65,44	61,88	63,66	9	70,15	71,32	70,74	9	71,82	72,8	72,31
10	70,59	73,65	72,12	10	69,97	71,02	70,49	10	70,14	71,85	71
Média (°)			71	Média (°)			71	Média (°)			73

Tabela XI.6 - Resultados Zona 3 (Etiqueta B)

Medição	Esq. (°)	Dir. (°)	Média (°)	Medição	Esq. (°)	Dir. (°)	Média (°)	Medição	Esq. (°)	Dir. (°)	Média (°)
1	92,9	93,96	93,43	1	83,71	83,75	83,73	1	79,55	79,36	79,45
2	75,16	77,35	76,25	2	83,53	83,85	83,69	2	81,57	77,97	79,77
3	73,49	76	74,74	3	82,63	82,65	82,64	3	81,22	78,17	79,69
4	61,22	53,06	57,14	4	28,19	52,08	40,13	4	80,88	77,87	79,38
5	60,82	52,41	56,62	5				5	47,75	65,4	56,57
6	72,42	74,95	73,69	6	81,37	79,28	80,33	6	48,36	64,59	56,47
7	71,41	73,67	72,54	7	54,36	68,27	61,32	7	49,9	59,73	54,82
8	69,21	70,05	69,63	8	82	82,29	82,15	8	49,4	59,34	54,37
9	65,44	61,88	63,66	9	55,78	64,75	60,26	9			
10	70,59	73,65	72,12	10	53,65	64,49	59,07	10			
Média (°)			71	Média (°)			69	Média (°)			66

